



**Rita Gonçalves Simões Marteleira**

Mestre em Engenharia do Ambiente

**Avaliação do binómio água-energia de  
um sistema de aproveitamento de  
águas pluviais – estudo de caso do  
*Campus do IST no Taguspark***

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Prof. Doutor Samuel Pedro de Oliveira Niza,  
Investigador Auxiliar, Instituto Superior Técnico,  
Universidade de Lisboa

Co-orientador: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire  
Cardoso Ferreira, Professor Auxiliar, Faculdade de  
Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Júri: Presidente: Prof. Doutor António Pedro Nobre Carmona Rodrigues  
Arguente(s): Prof. Doutora Maria do Céu Teixeira de Almeida  
Vogal(ais): Prof. Doutor Samuel Pedro de Oliveira Niza





**Rita Gonçalves Simões Marteleira**

Mestre em Engenharia do Ambiente

**Avaliação do binómio água-energia de  
um sistema de aproveitamento de  
águas pluviais – estudo de caso do  
*Campus do IST no Taguspark***

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Prof. Doutor Samuel Pedro de Oliveira Niza,  
Investigador Auxiliar, Instituto Superior Técnico,  
Universidade de Lisboa

Co-orientador: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire  
Cardoso Ferreira, Professor Auxiliar, Faculdade de  
Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Júri: Presidente: Prof. Doutor António Pedro Nobre Carmona Rodrigues  
Arguente(s): Prof. Doutora Maria do Céu Teixeira de Almeida  
Vogal(ais): Prof. Doutor Samuel Pedro de Oliveira Niza



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho 2014

**Avaliação do binómio água-energia de um sistema de aproveitamento de águas pluviais – estudo de caso do *Campus* do IST no *Taguspark***

Copyright © Rita Gonçalves Simões Marteleira,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de  
Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores Professor Samuel Niza e Professor Francisco Ferreira pela orientação e disponibilidade, sem as quais este trabalho não teria sido possível.

À Eng.<sup>a</sup> Diana Rosa dos SMAS de Oeiras e Amadora, pelas informações prestadas sobre o sistema de distribuição de água do município de Oeiras.

Ao grupo alargado do IN<sup>+</sup> - Centro de Estudos em Inovação, Tecnologia e Políticas de Desenvolvimento do Instituto Superior Técnico que me acolheram com carinho e amizade.

A toda a turma e docentes do Mestrado em Engenharia e Gestão da Água da FCT-UNL, por uns três semestres bem passados e auxílio prestado na aquisição de conhecimentos que me serão certamente úteis no meu percurso.

À minha família, como sempre e em especial aos meus pais que são e sempre serão para mim um exemplo a seguir nesta vida, e às insubstituíveis Bidus, Té, e mais recentemente, Jolie. E a todos aqueles amigos e amigas que são já família também.

E novamente ao mar, às águas frias e ondas perfeitas da praia do Baleal, pelos amigos ganhos ao longo dos anos e acima de tudo pelos incontáveis momentos de prazer, felicidade, contemplação e introspecção que me vai proporcionando.



## SUMÁRIO

O crescimento demográfico das próximas décadas terá lugar principalmente nas grandes cidades, o que levantará novos desafios para os sistemas de abastecimento de água. Adicionalmente, as alterações climáticas tenderão a acentuar a intensidade de cheias e secas, forçando as entidades gestoras a relocalizar as suas captações ou optar por técnicas alternativas de tratamento da água. Deste modo, assistir-se-á a uma intensificação dos consumos energéticos associados ao abastecimento de água, e o binómio água-energia assumirá crescente importância. O recurso a sistemas descentralizados e com menores consumos energéticos pode constituir uma alternativa, dentro dos quais se enquadra o aproveitamento de águas pluviais, que pode ajudar a promover a sustentabilidade do sector a nível local, mas também reduzir a factura energética do sistema e as respectivas emissões de gases de efeito de estufa (GEE).

No âmbito desta dissertação, foi desenvolvida uma ferramenta, *RaINvesT*, para avaliar a viabilidade da instalação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP), considerando usos não potáveis. Esta ferramenta foi testada no edifício universitário do *Campus* do Instituto Superior Técnico (IST) no *Taguspark*, estimando-se não só a concepção do sistema, mas também a energia incorporada por metro cúbico de água abastecida, em kWh/m<sup>3</sup>, e a emissão de GEE. Esta ferramenta inclui ainda uma análise de custo-benefício da instalação e operação do SAAP.

Os resultados evidenciaram uma dependência significativa da rede pública de abastecimento para suprir as necessidades de água. No entanto, a energia incorporada por metro cúbico de água abastecida pelo SAAP revelou ser muito inferior àquela incorporada na água da rede pública de abastecimento (0,013 e 0,791 kWh/m<sup>3</sup>, respectivamente), e consequentemente também as emissões de GEE. A análise de custo-benefício revelou um baixo custo de investimento inicial, em parte devido ao facto de se aproveitarem para este SAAP os reservatórios de combate a incêndio já existentes. Foi ainda apurado um período de retorno de 12 anos, na óptica do utilizador final, não consistindo este sistema um modelo de negócio viável por parte da entidade gestora dos serviços de abastecimento de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aproveitamento de águas pluviais; Binómio água-energia, Energia incorporada; Emissões de GEE; Alterações Climáticas





## ABSTRACT

It is commonly accepted that demographic growth will take place mainly on urban centers for the next decades. This may constitute a new challenge for existing water supply systems, as per capita water consumption is likely to keep increasing, due to more demanding water comfort standards. In addition, climate change predictions may worsen hazards like droughts or intense flooding, both affecting the availability of water resources and increasing the competition for their use between domestic, agricultural and industrial sectors. Providers may have to rely on more distant and/or poor quality water sources or opt for alternative treatment techniques. All these scenarios have one thing in common: providing water with good quality will most certainly have larger energetic costs associated, and the water-energy nexus will assume great relevance. Decentralized and less energy-intensive solutions for water supply may be adopted as an alternative, among which is rainwater harvesting, which may turn an appealing alternative to water supply in order to increase local sustainability, but also embracing these system's benefits in terms of energy for water production and associated GEE emissions.

*RaINvesT* was a tool developed on this dissertation for assessing the viability of the installation of a rainwater harvesting system, considering non-potable uses (toilet discharge and green spaces irrigation). The tool was tested in a university building of *Instituto Superior Técnico*, in Oeiras. It can estimate not only the adequate size of rainwater reservoirs, but also the embodied energy per cubic meter of harvested water ( $\text{kWh/m}^3$ ), convertible in greenhouse gases (GEE) emissions. This analysis also includes an economic viability study of this harvesting system installation and operation. Main results showed that water supply on the building for toilet and watering uses still depends significantly on the public water network. However, *RaINvesT*'s results for the rainwater harvesting system designed for the IST Campus evidenced much lower indexes of embodied energy comparing to the current supply system ( $0.013$  and  $0.791 \text{ kWh/m}^3$ , respectively). Consequently, rainwater harvesting has lower associated GEE emissions. Also, this system also revealed a low initial investment, mostly due to the exploitation of the existing firefighting reservoirs. The cost-benefit analysis revealed that this system investment can be recovered by its user in 12 years, but it is never a successful business model for the local water utility.

**KEY-WORDS:** Rainwater harvesting; Water-energy nexus; Embodied energy; GEE emissions; Climate Change



## ÍNDICE DE CONTEÚDOS

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Estado da arte	1
1.1.1. <i>O binómio água-energia</i>	2
1.1.2. <i>Sistemas de água e alterações climáticas</i>	7
1.1.3. <i>A descentralização dos sistemas e o aproveitamento de águas pluviais</i>	9
1.1.4. <i>Concepção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais</i>	13
1.2. Objectivos	21
1.3. Enquadramento legal e normativo dos SAAP	21
1.4. Apresentação do estudo de caso	27
1.4.1. <i>Gestão da Água no Município de Oeiras</i>	27
1.4.2. <i>O Campus do IST no Taguspark, Oeiras</i>	32
1.4.3. <i>Redes de água no Campus do IST no Taguspark</i>	32
a) <i>Rede de Abastecimento de Água</i>	32
b) <i>Drenagem de águas pluviais</i>	34
c) <i>Drenagem de águas residuais</i>	37
1.4.4. <i>Consumos de água no edifício e facturação</i>	38
1.4.5. <i>Gestão da Energia no Município de Oeiras</i>	41
2. METODOLOGIA	43
I. Módulo de cálculo das necessidades hídricas	45
II. Módulo de cálculo da disponibilidade de águas pluviais	45
III. Módulo de selecção do tipo de sistema de SAAP	47
IV. Módulo de concepção do SAAP	48
V. Módulo de análise da energia incorporada	49
VI. Módulo de análise de custo-benefício	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
I. Módulo de cálculo das necessidades hídricas	53
II. Módulo de cálculo da disponibilidade de águas pluviais	54
III. Módulo de selecção do tipo de sistema	58
IV. Módulo de concepção do SAAP	59
V. Módulo de análise da energia incorporada	69
VI. Módulo de análise de custo-benefício	76
4. CONCLUSÕES	83
5. BIBLIOGRAFIA	85

5.1. Referências Bibliográficas	85
5.2. Sítios na internet consultados	90
6. ANEXOS	93
ANEXO I – Excerto da folha de cálculo usada para o balanço hídrico do SAAP	93
ANEXO II – Consumos unitários e anuais por dispositivo ou por utilização (ANQIP, 2013)	94
ANEXO III – Resultados da Análise Custo Benefício	95
a) Hipótese 1: análise de custo-benefício para os SMAS de Oeiras e Amadora	95
b) Hipótese 2: análise de custo-benefício para o Instituto Superior Técnico	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos esquemáticos de um sistema indirecto e directo, respectivamente (Rodrigues, 2010).....	14
Figura 2 - Exemplos de tanques elevados (Pastigama, Manutan e Ecodepur, respectivamente) .....	18
Figura 3 - Exemplos de sinalética usados para águas recicladas (OregonLive, 2013) .....	19
Figura 4 - Exemplo do funcionamento de um filtro de queda (Rodrigues, 2010) .....	19
Figura 5 - Freios-de-água para entrada da água no reservatório (Rodrigues, 2010).....	20
Figura 6 - Sistemas de first-flush e overflow, respectivamente (Rodrigues, 2010) .....	21
Figura 7 – Natura Towers, equipadas com um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais para fins de rega (Ecoágua, Apresentação U. Aveiro, 18 Fevereiro 2011) .....	25
Figura 8 – Sistema de abastecimento de água da EPAL (EPAL, 2010).....	29
Figura 9 – Sistema de distribuição de água dos SMAS de Oeiras e Amadora (SMAS Oeiras e Amadora, 2007).....	30
Figura 10 - Consumo de água por sector de actividade em Oeiras (SMAS Oeiras e Amadora, 2007) .....	31
Figura 11 - O Campus do IST no Taguspark .....	32
Figura 12 - Reservatórios enterrados de combate a incêndio, IST Campus Taguspark .....	33
Figura 13 - Rede predial de drenagem de águas pluviais no IST, Campus Taguspark (Pardal-Monteiro, 2006) .....	35
Figura 14 - Descarga de águas pluviais na rede de drenagem local (detalhe) (Pardal-Monteiro, 2006) .....	36
Figura 15 - Reservatórios de combate a incêndio (detalhe) .....	37
Figura 16 - Variação mensal do consumo de água no IST .....	38
Figura 17 - Consumo médio mensal de água no IST, <i>Taguspark</i> .....	39
Figura 18 - Facturação média mensal, IST Taguspark.....	40
Figura 19 - Consumo doméstico de electricidade em Oeiras, por freguesia (Oeingerge, 2013) ..	42
Figura 20 - Metodologia da ferramenta <i>RaINvesT</i> .....	44
Figura 21 - Principais resultados obtidos com o <i>RaINvesT</i> para o caso de estudo .....	52
Figura 22- Piso Térreo do IST e espaços verdes interiores .....	54
Figura 23 - Anos secos e anos húmidos para o período considerado.....	56
Figura 24 - Hidrograma mensal para a estação udométrica do Cacém .....	56
Figura 25 – Divisão da cobertura do edifício, sistema actual de drenagem de águas pluviais e área de drenagem considerada .....	57
Figura 26 - Fotografia da cobertura do edifício em estudo .....	58
Figura 27 - Esquematização do balanço hídrico efectuado .....	60
Figura 28 - Relação entre a capacidade de armazenamento e volume médio de água utilizado diariamente ( $m^3$ ) para cada uso .....	60
Figura 29 - Resultados da análise do desempenho do SAAP .....	62
Figura 30 - Localização dos sanitários no Piso 0.....	63
Figura 31 - Localização dos sanitários no Piso 1.....	64
Figura 32 - Localização dos sanitários no Piso 2.....	64
Figura 33 – Localização potencial dos reservatórios elevados .....	65
Figura 34 - Bomba MQ da Grundfos (Grundfos, 2013) .....	66
Figura 35 - Esquematização do sistema SAAP para o edifício em estudo .....	67
Figura 36 - Esquematização da potencial rede de alimentação dos reservatórios elevados na cobertura do edifício .....	68



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Revisão da literatura - estudos semelhantes e seus principais resultados .....	6
Tabela 2 - Trabalhos sobre a avaliação da fiabilidade de SAAP (Ward, et al., 2012, adaptado) .....	12
Tabela 3 - Comparação entre reservatórios superficiais e subterrâneos (Rodrigues, 2010) .....	17
Tabela 4 – Regulamentos, normas e Guias de Boas Práticas Europeus e Internacionais relativos a SAAPs .....	22
Tabela 5 - Consumos mensais de água do <i>Campus</i> do IST no <i>Taguspark</i> .....	38
Tabela 6 - Água facturada ao IST .....	40
Tabela 7- Coeficiente de escoamento por tipo de coberto .....	47
Tabela 8 – Espaços verdes do piso 0 e respectivas áreas (m <sup>2</sup> ) .....	54
Tabela 9 - Parâmetros estatísticos para as séries de precipitação mensal no Cacém .....	55
Tabela 10 - Parâmetros estatísticos para as séries de precipitação diária no Cacém .....	55
Tabela 11 - Relação entre a capacidade do reservatório e o volume médio de água utilizado diariamente (m <sup>3</sup> ) para cada uso .....	60
Tabela 12 - Análise do desempenho do sistema para as várias capacidades .....	62
Tabela 13 - Dimensionamento dos reservatórios elevados .....	65
Tabela 14 – Energia incorporada no sistema de abastecimento actual .....	73
Tabela 15 - Emissões específicas por fornecedor de energia (2012) (Endesa, 2011) (Iberdrola, 2012) (EDP, 2013) .....	75
Tabela 16 - Orçamentação aproximada do SAAP (valores sem IVA) .....	77
Tabela 17 - Estimativa dos custos anuais da bombagem do SAAP .....	78
Tabela 18 - Despesas de manutenção do SAAP .....	78
Tabela 19 - Estimativa da redução e água potável cobrada ao IST .....	78
Tabela 20 - Estimativa da redução da água comprada à EPAL .....	79
Tabela 21 - Redução da energia de bombagem com a instalação do SAAP .....	79
Tabela 22 - Estimativa das receitas para o SMAS com o aproveitamento de águas pluviais ....	79
Tabela 23 - Depreciação dos materiais do SAAP .....	80
Tabela 24 - Sumário dos resultados obtidos no módulo VI da <i>RaINvesT</i> .....	82





## 1. INTRODUÇÃO

*“Improved water supply and sanitation contributes to human dignity, health, education and economic development.”* - United Nations Secretary General's Advisory Board on Water Supply and Sanitation, 2013 (Braga, et al., 2013)

### 1.1. Estado da arte

A maior parte do crescimento demográfico das próximas décadas terá lugar nas zonas urbanas, o que levantará grandes desafios para a humanidade. Os grandes centros urbanos são atractivos porque oferecem oportunidades para o desenvolvimento social e económico, mas é necessária uma forte infra-estruturação para que isso possa acontecer. Assim, crê-se que o abastecimento de água de boa qualidade, condições de saneamento e drenagem de águas pluviais, são fundamentais na criação de cidades funcionais. Para isso, novas tecnologias aplicáveis ao sector da água têm um papel de extrema relevância, em especial considerando a adaptação destes sistemas aos obstáculos levantados pelas alterações climáticas. (Braga, et al., 2013)

O aproveitamento de águas pluviais para enfrentar períodos de escassez hídrica é uma prática antiga, embora não se saiba com exactidão quando e onde terá tido início. Todavia, alguns autores apontam a Pedra Mobita (Israel, 830 a.C.) como o documento mais antigo onde se faz referência ao uso de cisternas em cada habitação. Em países como o Irão e o México, há também registos de cisternas com mais de 3 mil anos, sendo o México um país rico em tecnologias tradicionais de recolha de água pluvial da época dos Aztecas e Maias (Oliveira, 2008). Em Portugal, construções antigas como a antiga fortaleza e convento dos Templários (Tomar), tinham já tanques para armazenar águas das chuvas para abastecer as populações em caso de a água escassear durante um longo cerco às muralhas do castelo pelos inimigos.

Nos dias de hoje, o aproveitamento de águas pluviais é uma técnica bastante incentivada em países mais desenvolvidos que sofrem de escassez hídrica, como os EUA, a Austrália ou o Japão, onde são já oferecidos financiamentos para a construção destes sistemas. Esta busca por fontes alternativas de água é consequência tanto do crescimento populacional, como do aumento dos padrões de consumo da população (Oliveira, 2008), sendo que os fenómenos meteorológicos extremos decorrentes das alterações climáticas tenderão certamente a agravar esta escassez.

Em Portugal, esta prática é ainda pouco utilizada, apesar dos benefícios potenciais que podem ser obtidos, especialmente como forma de reduzir o consumo de água potável para fins não potáveis. Por outro lado, a impermeabilização dos solos resultante da ocupação humana diminui a infiltração das águas pluviais, com a consequente redução da recarga das águas subterrâneas e aumento do escoamento superficial, aumentando a probabilidade e a

magnitude da ocorrência de inundações e a frequência de descargas não tratadas no meio receptor a partir dos sistemas de drenagem. As afluências pluviais a sistemas unitários ou separativos domésticos podem ainda afectar a eficiência das estações de tratamento de águas residuais (ETAR). Neste contexto, a captação e armazenamento das águas pluviais em Portugal poderá contribuir para a redução do escoamento superficial e dos potenciais impactos negativos associados.

Posto isto, considera-se relevante o desenvolvimento de estudos de viabilidade de sistemas de aproveitamento de águas pluviais como o proposto nesta dissertação, atendendo aos regimes de precipitação de cada local e às respectivas necessidades e consumos de água.

#### *1.1.1. O binómio água-energia*

O planeamento de cidades pode ser suportado pelo estudo do seu metabolismo urbano, através da caracterização dos fluxos de materiais, água e energia que entram e saem do tecido urbano (Kenway, et al., 2011). A gestão destes fluxos essenciais deve portanto incluir fases estratégicas como a quantificação dos fluxos e crescimento de *stocks*, a avaliação das consequências dessa acumulação do ponto de vista económico, ambiental e social, e ainda o seu controlo, frequentemente por encurtamento dos ciclos dos materiais e encerramento dos ciclos, ou mesmo substituição de materiais e fontes de energia (Niza, et al., 2009).

O crescente êxodo rural, e as mudanças na distribuição populacional que este acarreta, são frequentemente acompanhadas por uma necessária reorganização da distribuição dos recursos. Apesar de áreas densamente urbanas permitirem, à partida, um uso mais eficiente destes recursos devido à sua natureza geralmente compacta, na realidade as cidades modernas estão assentes em grandes sistemas centralizados. Consequentemente, a urbanização do território é responsável pela desertificação dos meios rurais, apesar de as cidades serem sustentadas com frequência pela exploração de recursos localizados nestas zonas. À medida que os grandes centros urbanos se vão expandindo, os consumos de água e energia excedem a oferta possível das áreas circundantes, requerendo a sua importação de fontes mais distantes, ou a procura de fontes alternativas destes recursos (Perrone, et al., 2011).

Em resposta ao aumento das necessidades de água nas cidades Australianas, novas fontes de água têm vindo a ser exploradas, destacando-se as estações de dessalinização ou as técnicas de reutilização de águas. No entanto, estas novas tecnologias são geralmente mais intensivas do ponto de vista energético do que as técnicas tradicionais de captação e tratamento de água. Kenway e a sua equipa (Kenway, et al., 2011) estimaram que as necessidades energéticas por parte das companhias de água das principais cidades Australianas deverão, até 2030, crescer de 130% a 200% em relação aos consumos actuais. Outros autores (Mo, et al., 2010) estimaram ainda que 4% da necessidade energética dos Estados Unidos corresponde ao

transporte e tratamento de água e águas residuais, ainda que aproximadamente 2 a 3% da energia total do mundo seja gasta nos sistemas de abastecimento de água.

A ligação entre a água e a energia nas cidades foi já objecto de vários estudos, e é comumente referida como binómio água-energia (Bazilian, et al., 2011). Compreender o binómio água-energia é fundamental para resolver os problemas destes dois recursos simultaneamente, ao invés de ser transferirem os problemas de um recurso para o outro, como frequentemente acontece (Kenway, et al., 2011). Assim, esta relação entre os recursos água e energia pode ser vista de uma das duas maneiras seguintes: 'água para energia' ou 'energia para água'. A primeira compreende os volumes de água associados à produção de energia (como por exemplo as centrais de produção de energia hidroeléctrica). Por outro lado, a fracção 'energia para água' refere-se à energia consumida na captação, tratamento, distribuição e usos finais dos recursos hídricos (Perrone, et al., 2011). A influência dos usos da água nos consumos energéticos pode também ser analisada ao nível edifício residencial, considerando que os usos de água quente (geralmente para higiene, fins culinários ou de limpezas) têm maiores implicações energéticas.

Assim, focando apenas o ramo 'energia para água' no qual se centra este trabalho, podem ainda ser distinguidos dois tipos de consumo energético: a primeira parcela, ordinariamente designada por energia directa, corresponde à energia usada no próprio local de consumo para operação e manutenção das infra-estruturas de abastecimento de água; por sua vez, a segunda parcela, denominada energia indirecta, compreende a energia associada ao uso de determinados materiais, como os reagentes químicos das etapas de tratamento de água, ou a energia requerida por outros serviços indirectamente ligados aos sistemas de abastecimento (como o combustível necessário para a frota da empresa, ou a energia gasta na construção das infraestruturas destes sistemas, por exemplo). Alguns estudos referem que a energia indirecta pode, em determinadas situações, ser comparável ou ainda superior às necessidades directas de energia, e ainda que este tipo de energia indirecta terá tendência a ser ainda mais significativo à medida que os sistemas de água requerem tecnologias cada vez mais complexas e reagentes químicos em maior quantidade, de modo a tratar-se convenientemente a água proveniente de fontes onde a sua qualidade seja inferior (Mo, et al., 2010).

A quantidade de energia directa requerida para transportar água bruta até à estação de tratamento de água depende, logicamente, da distância percorrida e diferenças de cota ao longo desse percurso. Por sua vez, a energia directa necessária para a bombagem de água subterrânea depende apenas da profundidade a que o aquífero se encontra. É conhecido que uma captação de água superficial tem associadas menores necessidades de energia directa comparativamente a um sistema de captação de água subterrânea, dado que o último usualmente depende de poços de alguma profundidade e por vezes afastados geograficamente, o que aumenta os requisitos energéticos. Por outro lado, uma água superficial terá associada maior energia indirecta, dado que apresenta comumente menor qualidade que as águas subterrâneas, requerendo linhas de tratamento mais complexas e mais

intensivas em termos de reagentes e aditivos químicos (Plappally & Lienhard, 2012). Hoff determinou que o transporte de um metro cúbico de água horizontalmente pode requerer aproximadamente a mesma energia do que a utilizada na produção de um mesmo metro cúbico de água dessalinizada, apesar de a dessalinização ser uma alternativa muito intensiva energeticamente, o que salienta o peso que a fase de transporte de água pode ter em termos da sua energia incorporada (Hoff, 2011).

Em suma, a energia incorporada num metro cúbico de água abastecida depende de um conjunto de variáveis, como a localização geográfica da sua captação, a qualidade da água bruta e ainda diferentes metodologias de cálculo (Mo, et al., 2011). Os métodos de contabilização de energia incorporada de um sistema de água primeiramente usados baseavam-se numa tradicional Avaliação de Ciclo de Vida (*LCA – Life Cycle Assessment*). No entanto, pensa-se que o método tradicional de análise de ciclo de vida subestima os resultados de energia incorporada dada a escassez de dados fidedignos e a dificuldade de definição dos limites dos sistemas. Assim, alguns autores (têm recorrido em alternativa a uma abordagem híbrida que soma os *inputs* e *outputs* de energia directa e energia incorporada em cada material, um processo mais fidedigno embora possa também ser fortemente prejudicado pela falta de dados de fabrico dos diversos materiais (Crawford, 2008) .

Esta consciência da importância do custo energético da água abastecida tem motivado trabalhos de investigação, ambos em energia directa e indirecta. Um trabalho interessante desenvolvido por Mo e colegas comparou a energia incorporada em sistemas baseados em águas superficiais e subterrâneas, concluindo que esta pode ser comparável em termos de energia incorporada total (Mo, et al., 2010). No entanto, o sistema assente em reservas subterrâneas de água revelou-se mais intensivo energeticamente no que respeita à energia directa devido aos superiores requisitos de bombagem de água ( $1,69 \text{ kWh/m}^3$  de energia directa num total de  $2,72 \text{ kWh/m}^3$  de energia incorporada). Por outro lado, o sistema de captação de água superficial avaliado apresentou, como seria de esperar, maior parcela de energia indirecta, consequência de um esquema de tratamento mais complexo (cerca de  $1,53 \text{ kWh/m}^3$  de energia indirecta num total de  $2,86 \text{ kWh/m}^3$  de energia incorporada total). Atendendo ainda à energia indirecta incorporada nos diversos materiais, os mesmos autores consideraram também a energia dos processos de produção dos reagentes químicos e dos materiais de construção usados nas infra-estruturas, por terem também uma contribuição significativa para a soma da energia incorporada total. De facto, para o sistema de captação de água superficial estudado, o peso dos reagentes químicos na energia incorporada total ascendeu aos 9,6%, representando apenas 5,7% no sistema de extracção de águas subterrâneas.

Outro trabalho interessante foi desenvolvido por Horvath, no qual, através de uma metodologia híbrida de ciclo de vida, foi comparada a energia incorporada em diferentes soluções de abastecimento de água: adução de água, várias técnicas de dessalinização e reutilização de águas residuais tratadas. Talvez uma das mais pertinentes conclusões deste trabalho seja o

facto de, para as infra-estruturas típicas dos EUA, a reutilização de água ser preferível às soluções de dessalinização e comparável à adução de água, sendo apenas menos eficiente na fase de distribuição de água devido à necessidade de construção de uma rede separativa de água tratada ( $1,5 \text{ kWh/m}^3$ ). Como esperado, na fase de tratamento a dessalinização revelou-se a solução com maiores consumos energéticos, enquanto a adução de água teria maior peso energético na fase de transporte (Horvath, 2009).

Deve ter-se em conta que um destes sistemas implantado localmente não teria a necessidade de uma nova e extensa rede para o transporte da água não-potável, pelo que potencialmente consiste numa opção menos exigente do ponto de vista energético do que um sistema de reutilização de águas residuais tratadas. De facto, o trabalho de Godseken (2001) concluiu que os sistemas de aproveitamento de águas pluviais têm o melhor perfil ambiental de entre todas as outras soluções, apesar do volume potencial de água recolhida ser limitado pela área de captação e condições climáticas. Isto deve-se sobretudo ao facto de estes sistemas funcionarem apenas dependentes da gravidade, impedindo que as águas pluviais se juntem aos efluentes residuais nas redes unitárias (Godskesen, et al., 2011).

A energia específica de 20 sistemas residenciais de aproveitamento de águas pluviais em Queensland, Austrália, foi avaliada, tendo-se apurado uma energia incorporada média de  $1,52 \text{ kWh/m}^3$ , variando entre os  $0,25 \text{ kWh/m}^3$  e os  $2,13 \text{ kWh/m}^3$ . Esta variação na energia específica deveu-se sobretudo a diferenças nas dimensões dos tanques e dos próprios sistemas de bombagem, condições de operação destes últimos, existência de válvulas de pressão, entre outros (Umapathi, et al., 2013). Por seu lado, Retamal (2009) afirma que a intensidade energética de um SAAP varia em função da configuração escolhida para o sistema, destino final das águas recolhidas, e padrões comportamentais dos utilizadores. Este estudo, focando também zonas residenciais em Sidney, Austrália, revelou energias incorporadas que variaram entre os  $0,9$  e os  $4,9 \text{ kWh/m}^3$ , e um valor médio na ordem dos  $1,5 \text{ kWh/m}^3$  (Retamal, et al., 2009).

Um estudo comparável a esta dissertação foi desenvolvido por Ward (2012), que analisou a performance de um SAAP de um edifício de escritórios no Reino Unido, incluindo também um módulo de análise da energia incorporada na água pluvial recolhida e aproveitada. Para este estudo de caso, relativo também a um sistema indirecto, obteve-se assim uma energia incorporada de  $0,54 \text{ kWh/m}^3$ . Outro ponto em comum entre o trabalho de Ward e esta dissertação relacionou-se com a análise de custo-benefício desenvolvida, do ponto de vista do utilizador final do SAAP, em termos de poupanças conseguidas pela diminuição da compra de água potável, mas também com o cálculo do período de retorno do investimento, para o qual obteve um resultado de 11 anos. A tabela seguinte sumariza os principais resultados de estudos semelhantes ou comparáveis a esta dissertação, nos quais se procurou também quantificar a energia incorporada por metro cúbico de água para diferentes soluções de abastecimento de água e/ou de drenagem e tratamento de águas residuais.

**Tabela 1 - Revisão da literatura - estudos semelhantes e seus principais resultados**

Autores	Sistema em Estudo	Resultados energia incorporada	Observações
<b>(Ward, et al., 2012)</b>	SAAP de um edifício de escritórios	0,54 kWh/m <sup>3</sup>	Sistema indirecto; considerada apenas a operação do grupo de bombagem
<b>(Umapathi, et al., 2013)</b>	Sistemas de aproveitamento de águas pluviais residenciais (directos)	1,52 kWh/m <sup>3</sup>	Sistemas de pequenas dimensões, instalados a nível residencial. Apenas a bombagem foi considerada.
<b>(Retamal, et al., 2009)</b>	Sistemas de aproveitamento de águas pluviais residenciais (directos)	1,50 kWh/m <sup>3</sup>	Comparação de sistemas residenciais com diferentes configurações; apenas a bombagem foi considerada
<b>(Cheng, 2002)</b>	Sistemas de bombagem residenciais e comparação com os sistemas de abastecimento	0,16 – 0,25 kWh/m <sup>3</sup>	Apenas fase de operação das 5 ETAR foi considerada
<b>(Racoviceanu, et al., 2007)</b>	Sistema de abastecimento de Toronto, considerando a produção de reagentes, o transporte de materiais e a fase de operação das ETA	2,3 – 2.5 MJ/m <sup>3</sup> (eq. a 0,63 – 0,69 kWh/m <sup>3</sup> )	Apenas a fase de operação da ETA foi considerada; Estudo baseado numa metodologia LCA input-output económica
<b>(Horvath, 2009)</b>	Comparação da intensidade energética de alternativas de abastecimento e tratamento de água: importação, dessalinização e reutilização	Adução: 18 MJ/m <sup>3</sup> (5,0 kWh/m <sup>3</sup> ) Dessalinização: 42 MJ/m <sup>3</sup> (11,7 kWh/m <sup>3</sup> ) Reutilização: 17 MJ/m <sup>3</sup> (4,72 kWh/m <sup>3</sup> )	Este estudo considerou apenas a construção, operação e manutenção das redes (para energia directa e indirecta)
<b>(Mo, et al., 2011).</b>	Comparação da energia incorporada em sistemas de captação de água subterrânea e superficial	Capt. águas superficiais: 4,8 MJ/m <sup>3</sup> (1,33 kWh/m <sup>3</sup> ) de energia directa 5,5 MJ/m <sup>3</sup> (1,53 kWh/m <sup>3</sup> ) de energia indirecta 2,86 kWh/m <sup>3</sup> total de energia incorporada	Os limites deste sistema incluíram as fases de construção das estruturas de captação, ETA, reservatórios, redes de abastecimento e estações elevatórias; Estudo baseado numa metodologia LCA input-output económica
<b>(Chen, et al., 2012)</b>	Avaliação do sistema de abastecimento de água de Xangai e redução potencial de energia na aplicação de SAAP	0,21 kWh/m <sup>3</sup>	Valor referente ao consumo energético médio da Companhia de Águas de Xangai

Uma visão integrada das infra-estruturas de água-energia pode permitir a identificação de oportunidades de se melhorarem eficiências e reduzir custos destes sistemas, bem como

consumos e emissão de poluentes. De facto, os serviços de água podem reduzir significativamente os seus custos energéticos pela redução da energia necessária, mas deve salientar-se que estas medidas apenas terão verdadeiro significado se existir um enquadramento institucional que permita a sua implementação. Outros impedimentos frequentes à boa aplicação destas medidas passam pelos escassos recursos humanos nas infraestruturas de água, a priorização de questões de abastecimento e saneamento, e a falta de conhecimento da população em geral dos impactos benéficos destas soluções (Braga, et al., 2013).

Enquanto os usos e disponibilidades da água e a produção de energia têm impactos significativos no ambiente, as alterações do clima têm tido consequências para a disponibilidade de água, por sua vez afecta muito as disponibilidades energéticas. Esta questão é explicada em maior detalhe na secção que se segue.

#### *1.1.2. Sistemas de água e alterações climáticas*

Associada aos custos energéticos, a emissão de gases de efeito estufa (GEE) é considerada o impacto ambiental mais significativo das tecnologias usadas nos sistemas de água, a par de fenómenos como a acidificação, a formação de compostos oxidantes fotoquímicos ou o excesso de nutrientes, sendo a fase de operação dos sistemas a mais danosa (Godskesen, et al., 2011). Van der Hoek (2012) avaliou a possibilidade de recuperação de alguma energia dos processos de tratamento de água, por forma a mitigar a sua emissão de CO<sub>2</sub> e consequente contribuição para fenómenos de alterações climáticas. Este autor estimou que a contribuição anual dos sistemas de água na cidade de Amsterdão para o potencial total de aquecimento global é de 0,8% e que a energia recuperada do ciclo de água urbano nesta cidade podia ajudar na redução de GEE em 148 000 toneladas de CO<sub>2</sub> eq por ano. As emissões de GEE foram também avaliadas por Horvath (2009), no estudo já referido, em que foram comparadas 3 diferentes soluções de abastecimento de água, apurando-se que as emissões dos processos de dessalinização (2,5 kg eq CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) seriam significativamente superiores às dos sistemas de adução e reutilização de água (1,1 e 1,0 kg eq CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>, respectivamente). De facto, em termos de emissões de partículas (PM), a solução de reutilização de água revelou-se a mais poluente, com 20% mais emissões que os restantes sistemas, sendo 46% dessas emissões provenientes da produção de reagentes químicos necessários para assegurar a qualidade da água.

O mesmo autor enfatiza a importância da quantificação da energia incorporada nos diferentes químicos, considerando que a sua contribuição para a energia total incorporada por metro cúbico de água pode ascender aos 18%, e que as emissões de GEE associadas podem assumir um peso semelhante. Os principais reagentes químicos considerados numa estação de tratamento de água para abastecimento são, dependendo sempre do esquema e natureza do tratamento, o alumínio e poli-alumínio, polímeros catalisadores e acetato de sódio (para

processos de coagulação), cloro gasoso e hipoclorito de sódio (para desinfecção), entre outros (Racoviceanu, et al., 2007).

Existe uma vasta literatura que procura identificar as implicações dos sistemas de água nas alterações climáticas, na medida em que influenciam o ciclo hidrológico natural, e vice-versa. É aceite que as mudanças no clima podem afectar os sistemas de água de forma directa, através de alterações dos fluxos naturais e temperatura (provocando um aumento das necessidades de água para fins de climatização), e também indirectamente, afectando outras pressões como os padrões de uso do solo. Em termos de poluição, pensa-se que possam afectar fontes de poluição (pontuais e difusas) pelo aumento do fluxo de nutrientes e/ou substâncias tóxicas durante picos de caudal, ou pela menor diluição em sistemas menores.

De acordo com Wilby, as alterações climáticas podem mesmo vir a aumentar a competição pelos escassos recursos hídricos por parte dos sectores doméstico, industrial, agrícola e necessidades ecológicas. Na agricultura, por exemplo, mudanças directas no clima podem levar à adaptação a novas práticas de ocupação do solo ou de diferentes cultivos, que podem ter necessidades hídricas muito diferentes das actuais. No entanto, a Directiva-Quadro da Água, definida a nível Europeu, não menciona explicitamente quais os riscos concretos das alterações climáticas no sector da água, e que medidas podem ser tomadas com vista à sua adaptação (Wilby, et al., 2006).

Também Jun avaliou a vulnerabilidade hidrológica às alterações climáticas, recorrendo a parâmetros como o potencial para a ocorrência de cheias, a depleção de cursos de água, ou a degradação da qualidade da água, concluindo que as mudanças no clima podem ser vistas como uma ameaça adicional para os sistemas de água, capaz de aumentar significativamente a pressão já existente sobre os sistemas hidrológicos e recursos hídricos (Jun, et al., 2011). Adicionalmente, as medidas de adaptação às referidas mudanças podem também impor mais pressão sobre a economia de países menos desenvolvidos, considerando as suas limitadas capacidades técnicas de resposta e instrumentos financeiros (Mujumdar, 2008). Deve, no entanto, salientar-se, que também em países desenvolvidos como os EUA os recursos hídricos poderão ser afectados pelas alterações climáticas, sendo que aproximadamente um terço dos Estados pode ser considerado em risco extremo (Roy, et al., 2012). Numa perspectiva diferente, o trabalho de Gourbesville (2008), focado não apenas no impacto das alterações climáticas no ciclo da água mas também na relação inversa, apurou que um sistema de água adequadamente gerido pode desempenhar um papel determinante na estabilização dos teores de GEE na atmosfera, e ainda que a opção hidroelétrica pode ter uma grande contribuição na redução da emissão de GEE no que respeita à produção de energia (Gourbesville, 2008).

No entanto, o grau em que as alterações climáticas afectarão as disponibilidades hídricas permanece muito incerto. Essa incerteza dificulta a integração da informação climática nos planos de gestão da água (Braga, et al., 2013). Em Portugal, a Estratégia Nacional para as



Alterações Climáticas e o quadro legal Europeu conduziram à criação de três instrumentos que procuram dar resposta aos desafios climáticos:

- O Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), que estabelece medidas de redução das emissões de GEE para vários sectores;
- O Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE), que define a nível nacional as infra-estruturas a incluir no Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) e respectivas licenças de emissão;
- e o Fundo Português para o Carbono (FPC), criado com o objectivo de financiar medidas adicionais ao PNAC;
- Ainda, considerando a adaptação aos efeitos climáticos, foi aprovada em 2010 a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (Entidade reguladora dos Serviços Energéticos, 2012).

#### *1.1.3. A descentralização dos sistemas e o aproveitamento de águas pluviais*

De acordo com Odum (1997), os centros urbanos podem ser vistos como que “parasitas” das zonas rurais, na medida em que delas dependem para obter os recursos básicos ao seu bom funcionamento, como alimentos, água ou energia, e são ainda responsáveis pela sua degradação pelo despejo de efluentes e resíduos gerados nas suas variadas actividades. Por outro lado, as cidades são também centros de inovação e desenvolvimento, onde são criadas novas tecnologias que beneficiam as práticas rurais. Um centro urbano em desenvolvimento frequentemente não tem capacidade de se auto-abastecer das quantidades de água que requer, e nesses casos recorre-se com frequência à exploração de aquíferos subterrâneos, ou outras soluções são equacionadas. Esta exploração está muitas vezes associada ao facto de os modelos tradicionais de gestão urbana da água não distinguirem entre os seus diferentes usos, enquanto estes requerem água com diferentes padrões de qualidade (a água para a descarga de um autoclismo não requer as características de potabilidade da água para beber ou cozinhar, por exemplo) (Bahri, 2012). Estes sistemas, que ainda são bastante semelhantes aos usados no Império Romano, baseiam-se com frequência na captação de água em zonas remotas, transportando-a por grandes distâncias até aos centros urbanos. Como resultado, água de boa qualidade tem vindo a ser usada indiscriminadamente nas várias actividades urbanas (van der Steen, 2006).

Dada a complexidade dos sistemas urbanos, é apropriado questionar-se qual a dimensão ideal destes sistemas para garantir a sustentabilidade no uso da água, sendo a descentralização dos sistemas apontada como uma das mais viáveis soluções (Umapathi, et al., 2013). No entanto, não podem ser ignorados os benefícios característicos de uma economia de escala que os sistemas centralizados permitem. Actualmente, de acordo com Starkl (2012), um dos principais obstáculos à implementação de sistemas descentralizados prende-se com a sua gestão operacional, dado que enquanto os sistemas centralizados são geralmente operados por uma única entidade com fortes capacidades técnicas e de gestão, a descentralização dos serviços frequentemente conduz a uma manutenção deficiente pela dispersão dos equipamentos.

Enquanto que para áreas densamente habitadas deve procurar-se um equilíbrio entre sistemas centralizados e soluções descentralizadas, em áreas urbanas mais dispersas estas últimas podem assumir uma maior pertinência (Braga, et al., 2013).

Adicionalmente, a crescente impermeabilização das áreas urbanas constitui uma das principais causas de elevados volumes de escoamento superficial nas cidades. Mas estes fluxos podem ser reaproveitados para usos não-potáveis, implicando nesse caso a construção de redes separativas com elevados investimentos iniciais. No entanto, de acordo com o trabalho de McArdle e colegas, os avanços tecnológicos nos tratamentos de água por filtração com membranas podem vir a permitir que estes volumes de escoamento urbano possam ser usados ou armazenados recorrendo à rede de distribuição já existente (McArdle, et al., 2011). Num contexto geral, a desinfecção com ozono, ou um tratamento simples com carvão activado, seriam suficientes para tratar estes efluentes pluviais, mas nas cidades, especialmente naquelas com um passado mais industrial, factores como a forte densidade populacional ou a extensão das áreas impermeabilizadas, podem implicar o recurso a processos de tratamento mais eficazes, como a microfiltração, ultrafiltração, osmose inversa ou oxidação.

O aproveitamento das águas pluviais pode ajudar a diminuir o excessivo escoamento urbano, como também ser útil na resposta às crescentes necessidades hídricas: a recolha de águas pluviais na cobertura dos edifícios consiste numa fonte directa de água, que pode ser usada também na recarga de aquíferos (Schuetze & Chelleri, 2013). Bahri (2012) afirma que estas soluções descentralizadas devem ser tidas em conta simultaneamente com os melhoramentos das grandes infraestruturas.

Assim, à medida que a tarifa de água abastecida continua a aumentar, o uso de água pluvial tratada para consumo humano torna-se uma alternativa cada vez mais competitiva. Não obstante, analogamente ao que se passa com a reutilização de água residual tratada, o uso de água pluvial para consumo humano não é ainda inteiramente aceite pelas comunidades em geral, parcialmente devido às preocupações económicas e de saúde pública inerentes a estes sistemas, mas também por causas ambientais (dado que afecta o fluxo natural do escoamento superficial), e ainda pelo facto de requerer espaço na malha urbana para instalação dos reservatórios. Por conseguinte, um grande sistema centralizado para recolha e armazenamento de efluentes pluviais pode ser apontado como uma alternativa mais viável, na medida em que não requer a implementação de redes separativas.

Por outro lado, Chanan (2010) apresentou um estudo de caso aplicado a uma cidade Australiana, no qual foi instalado um sistema descentralizado de aproveitamento de águas pluviais para usos de irrigação e descargas nas instalações sanitárias, entre outros. A engenhosa solução para dissimular o reservatório deste sistema, consistiu na criação de um lago natural no parque central da cidade, também com usos ecológicos e recreativos, cuja água proveniente da drenagem da cidade era tratada pela presença de um leito de macrófitas. Outro exemplo de instalação local de um sistema de aproveitamento de águas pluviais foi mostrado por Khastagir (2010), no qual o recurso a tanques à escala residencial permitiu o

aproveitamento individual de águas pluviais para usos não potáveis como a rega, descarga de autoclismos ou lavagem de roupas. De acordo com este autor, a instalação deste sistema descentralizado poderá ter um efeito ambiental positivo através da diminuição de até 75% do volume de escoamento.

A performance de um SAAP é geralmente expressa em termos de fiabilidade volumétrica ou fiabilidade temporal. A fiabilidade volumétrica, equivalente à poupança de água potável, é definida como o rácio entre o total de águas pluviais usadas e as necessidades hídricas, para um determinado período de tempo. Por outro lado, a fiabilidade temporal relaciona-se com o número de períodos (anos, meses, dias, entre outros) em que as necessidades hídricas são completamente satisfeitas, expressando-se geralmente em percentagem (Palla, et al., 2011). Neste trabalho, o desempenho do SAAP foi avaliado tendo em conta estes dois indicadores

A nível residencial, salienta-se o trabalho de Umapathi e colegas (2013), que monitorizaram em tempo real 20 residências em Queensland, Austrália. Para além da estimativa da redução de consumo de água potável para fins não potáveis (descargas de autoclismos, máquinas de lavar a roupa e torneiras usadas para fins de rega), este trabalho incluiu ainda uma análise do desempenho do SAAP para cada residência, uma caracterização dos padrões diurnos de utilização de águas pluviais, e ainda o consumo de energia associado a estes sistemas. A análise de desempenho referida foi, neste trabalho, expressa pelo rácio entre a água consumida fornecida pelo SAAP e a totalidade da água consumida na residência (somando a água proveniente do SAAP e a da rede pública de abastecimento), um indicador geralmente designado por fiabilidade volumétrica (Ward, et al., 2012), tendo variado entre 1 e 67% para as residências estudadas, com um valor médio de 31%. Considerando apenas SAAP ao nível residencial, Umapathi obteve poupanças anuais de água médias na ordem dos 36 m<sup>3</sup>. De acordo com Retamal (2009), a poupança de água encontra-se dependente de factores como a extensão da área de captação, a dimensão dos reservatórios, os destinos finais das águas recolhidas, e as características climáticas da região. Outro trabalho citado, de Chong (2011), também incidente sobre zonas residenciais de Queensland, tinha já obtido resultados comparáveis, na ordem dos 16 a 35% redução dos consumos *per capita* de água potável (Umapathi, et al., 2013). As consequências para as entidades gestoras dos serviços de água da instalação destes sistemas foram analisadas por Gires e Gouvello (2009), que concluíram que estes conduzem a uma diminuição das necessidades de abastecimento convencional.

Esta mesma hipótese é suportada por outros autores que, tendo focado o seu trabalho em países sul-africanos, obtiveram também índices de fiabilidade na ordem dos 30%, incluindo na sua metodologia as alterações aos padrões de precipitação decorrentes de alterações do clima, a que a região em estudo se mostrou bastante vulnerável (Kahinda, et al., 2010).

Destaca-se também novamente o trabalho de Ward (2012), que desenvolveu uma análise empírica da performance de um SAAP instalado num edifício de escritórios no Reino Unido para uso exclusivo de descargas de autoclismos, comparando os resultados obtidos com aqueles estimados seguindo as metodologias propostas pelo *British Standard Institut* (ver

secção 1.2.). Por ser um caso de estudo aplicado a um edifício não residencial, semelhante ao edifício universitário que constitui o estudo de caso desta dissertação, este trabalho assumiu especial relevância. Para o edifício de escritórios referido, foi apurada uma fiabilidade de 87% para o SAAP respectivo, um valor extremamente positivo, concluindo-se ainda que este estaria sobrestimado e que seria possível atingir um nível similar de eficiência com tanques de menores dimensões (Ward, et al., 2012).

A Tabela 2 sumariza outros estudos encontrados sobre a avaliação da fiabilidade volumétrica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

**Tabela 2 - Trabalhos sobre a avaliação da fiabilidade volumétrica de SAAP (Ward, et al., 2012, adaptado)**

<b>Autores</b>	<b>Sistema em estudo</b>	<b>Fiabilidade do SAAP (em % água potável poupada)</b>
<b>(Chiu, et al., 2009)</b>	Rural doméstico	21,6 %
<b>(Zhang, et al., 2009)</b>	Urbano doméstico	25 %
<b>(Kim, et al., 2007)</b>	Projecto de Eco-casa	65 %
<b>(Nolde, 2007)</b>	Urbano doméstico	70 %
<b>(Ghisi, 2006)</b>	Urbano doméstico	48 a 100% (dependendo da região)
<b>(Coombes &amp; Kuczera, 2003)</b>	Urbano doméstico	6 a 74% (dependendo da região)
<b>(Zaizen, et al., 1999)</b>	Urbano comercial	59 %

Finalmente, devem referir-se as preocupações relativas à saúde pública levantadas quanto à instalação destes reservatórios residenciais se usados para consumo humano. De acordo com Hamndan (2009), apesar de ser aceite que o escoamento proveniente da cobertura dos edifícios terá índices de contaminação muito inferiores ao escoamento geral, deve ter-se em conta que os parâmetros de qualidade destes fluxos são muito vulneráveis aos padrões de distribuição da precipitação, tipo de edifício e cobertura, entre outras variáveis. Com efeito, a dimensão da área de captação de águas pluviais e o tipo de material que a constitui, sendo geralmente um telhado ou cobertura dos edifícios, têm grande influência na qualidade da água recolhida, dando-se preferência a superfícies mais lisas e impermeáveis. Também a a inclinação do telhado é um factor capaz de afectar a qualidade da água (Kwaadsteniet, et al., 2013). Adicionalmente, a qualidade da água depende também da localização do edifício, uma vez que pode ser afectada pela poluição do ar ou emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis, como as emissões do tráfego rodoviário, assim como alguma contaminação microbiológica (Abdulla & Al-Shareef, 2009). Alguns autores afirmam ainda que existe uma correlação entre a carga de contaminantes e a velocidade e direcção predominante do vento na área em estudo (Evans, et al., 2006).

Os agentes patogénicos referidos podem ter origem na contaminação fecal de origem animal, geralmente de aves, répteis ou pequenos mamíferos que tenham acesso à superfície de recolha das águas pluviais. Um estudo incidente sobre a ilha grega de Kefalonia, no qual foram recolhidas amostras de águas pluviais ao longo de três anos, revelou a presença de agentes microbiológicos, embora em baixas concentrações (Sazakli, et al., 2007). Resultados semelhantes foram obtidos na análise da qualidade da água em tanques de SAAP na Holanda (Schets, et al., 2010).

De acordo com Abdulla & Al-Shareef (2009), o sabor de uma água tem um papel fundamental na sua aceitação e consumo pela população. Uma vez que a água pluvial é, de maneira geral, mais pobre na sua mineralização, o seu aproveitamento para consumo humano ainda não é largamente aceite em zonas mais urbanas. Por forma a assegurar-se uma boa qualidade da água de um SAAP, é recomendada a sua manutenção cuidada, incluindo a limpeza periódica do tanque e acessórios. Analogamente, no caso de sistemas indirectos, pensa-se que a desinfecção dos tanques superiores em vez do tanque de maiores dimensões terá maior eficácia no controlo da qualidade da água (Sazakli, et al., 2007).

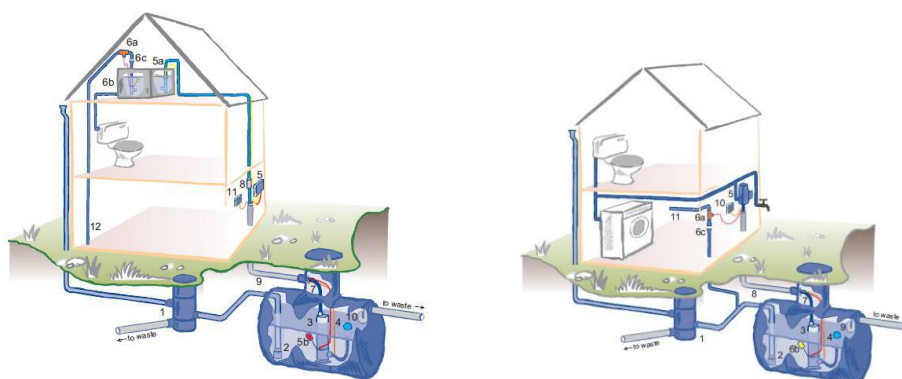
#### *1.1.4. Concepção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais*

Dois tipos de soluções são comumente usadas no abastecimento de águas recicladas (Figura 1). A opção mais comum é a de um sistema directo, no qual a água pluvial recolhida é bombeada directamente do reservatório para as instalações do edifício onde terá o seu uso final. Apesar desta necessidade mais frequente de elevação da água aumentar significativamente o custo associado à operação destes sistemas, estes têm a vantagem de não necessitarem de mais espaço ocupado do que aquele destinado ao reservatório (geralmente subterrâneo) por dispensarem a instalação de reservatórios elevados, e de conseguirem assegurar a pressão da água necessária ao funcionamento de alguns electrodomésticos (Rodrigues, 2010). Deve optar-se por este tipo de sistema para edifícios em que a ocupação de espaço na cobertura/sótão pelos reservatórios elevados constitua uma limitação, para edifícios de menor dimensão, e/ou onde a pressão da água seja um factor fundamental.

A solução alternativa, designada por sistema indirecto, passa por uma bombagem desde o reservatório subterrâneo até a um ou mais reservatórios elevados, geralmente de menores dimensões e instalados na cobertura ou sótão do edifício. A partir destes tanques, a água flui graviticamente para os diferentes usos (Ward, et al., 2012).

O grupo de bombagem de um sistema indirecto é também menos complexo (dado haver apenas bombagem para os reservatórios superiores), menos intensivo do ponto de vista energético, e consequentemente, menos dispendioso. Porém, devido à componente gravítica deste sistema, pode demorar mais tempo a reabastecer os autoclismos e a pressão da água

pode não ser a suficiente para o funcionamento de alguns electrodomésticos (Rodrigues, 2010).



**Figura 1 - Exemplos esquemáticos de um sistema indirecto e directo, respectivamente (Rodrigues, 2010)**

Em ambos os sistemas, de modo a garantir-se um abastecimento durante todo o ano, um sistema em *bypass* ligado à rede municipal de abastecimento é activado sempre que o SAAP não se revele suficiente, sendo esta ligação de segurança geralmente feita ao reservatório superior (Umapathi, et al., 2013). Num sistema indirecto também é mais fácil o recurso à rede pública de abastecimento se não houver água pluvial armazenada suficiente, dado que o sistema de *bypass* é menos complexo do que seria num sistema directo.

Variados métodos podem ser aplicados na determinação do volume óptimo do(s) reservatório(s). Alguns autores desenvolveram modelos de optimização para o dimensionamento dos tanques, como uma ferramenta para se atingirem as maiores eficiências, quer em termos de redução do consumo de água potável, mas também da poupança de energia (Chiu, et al., 2009). Um dos critérios usados por vários autores para este dimensionamento relaciona-se com a relação custo-dimensão dos tanques (Campisano & Modica, 2012). Para Palla (2011), o tamanho óptimo dos reservatórios de armazenamento de águas pluviais pode ser visto como uma função de dois parâmetros não dimensionais, a procura e o armazenamento. Enquanto que o factor da procura parece afectar significativamente a eficiência do sistema e *overflow* do tanque, o armazenamento influencia os tempos de retenção, contribuindo por sua vez para a degradação da qualidade da água armazenada (Palla, et al., 2011). Para o dimensionamento dos tanques recorre-se com frequência ao uso do Método Prático Alemão, ou do Método Prático Australiano. O primeiro consiste num modelo empírico onde o tamanho do tanque desse relaciona com 6% do volume mínimo anual precipitado e consumos mínimos anuais. No que respeita ao método Australiano, um método iterativo, o volume do tanque relaciona-se com a área de drenagem, o coeficiente de escoamento e a altura de precipitação, sendo calculado através de um balanço volumétrico até se atingirem valores estatisticamente fiáveis.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas sumariza, numa das suas normas, os métodos de cálculo possíveis para o dimensionamento dos reservatórios (ABNT - Associação Brasileira de

Normas Técnicas/ CEET 00.001.77 - Aproveitamento da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos, 2007):

- Método de Rippl – Podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias.

$$S(t) = D(t) - Q(t)$$

$$Q(t) = C * \text{precipitação}(t) * \text{área de captação}$$

$$V = \sum S(t) \text{ (apenas para } S(t) > 0)$$

$$\text{Sendo que: } \sum D(t) < \sum Q(t)$$

onde:

$S(t)$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ ;

$Q(t)$  é o volume de precipitação útil no tempo  $t$ ;

$D(t)$  são as necessidades ou consumo no tempo  $t$ ;

$V$  é o volume do reservatório;

e  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial.

- Método da simulação – Neste método a evaporação não deve ser levada em conta. Para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito. Neste método, devem ser feitas duas hipóteses, o reservatório deve ser considerado cheio no início; e os dados históricos devem ser representativos para as condições futuras.

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t)$$

$$Q(t) = C * \text{precipitação}(t) * \text{área de captação}$$

$$\text{Sendo que } 0 \leq S(t) \leq V$$

onde

$S(t)$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ ;

$S(t-1)$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t-1$ ;

$Q(t)$  é o volume de precipitação no tempo  $t$ ;

$D(t)$  é o consumo no tempo  $t$ ;

$V$  é o volume do reservatório fixo;

e  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial.

- Método Azevedo Neto

O volume precipitado é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0.042 * P * A * T$$

onde

$P$  é o valor da precipitação média anual, expresso em mm;

$T$  é o valor do número de meses de pouca precipitação, ou seca;

$A$  é a área de captação ( $m^2$ );

e  $V$  é o volume de água aproveitável e o volume de água no reservatório (L).

- Método prático alemão – trata-se de um método empírico onde se assume o menor valor do volume do reservatório: 6% do volume anual de consumo, ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável

$$V_{\text{adoptado}} = \min(V; D) \cdot 0.06$$

onde

V é o volume aproveitável anual de precipitação (L);

D é o valor do consumo anual de água não potável (L);

e V<sub>adoptado</sub> é o volume de água do reservatório (L).

- Método prático inglês

O volume de precipitação é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0.05 \cdot P \cdot A$$

onde

P é o valor da precipitação média anual (mm);

A é a área de captação (m<sup>2</sup>);

e V o volume de água aproveitável, e o volume de água do tanque (L).

- Método prático australiano

O volume de precipitação é obtido pela seguinte equação:

$$Q = A \cdot C \cdot (P - I)$$

onde

C é o coeficiente de escoamento superficial (geralmente 0,80);

P é a precipitação média mensal;

I é a intercepção de água pelas superfícies e perdas por evaporação (geralmente 2 mm);

A corresponde à área de captação;

e Q é o volume mensal produzido pela precipitação.

O cálculo do volume do reservatório é realizado iterativamente até que sejam obtidos valores otimizados de confiança e volume do reservatório:

$$V(t) = V(t-1) + Q(t) - D(t)$$

onde

Q(t) é o volume mensal produzido pela precipitação, no mês t;

V(t) é o volume de água no tanque no final do mês t;

V(t-1) é o volume de água no tanque no início do mês t (para o primeiro mês considera-se o tanque vazio);

e D(t) é o consumo mensal.

Para o cálculo da confiança (recomenda-se que estejam entre 90% e 99%):

$$Pr = Nt/N$$

$$\text{Confiança} = (1 - Pr)$$

onde

Pr é o erro;

Nr é o número de meses em que o reservatório não deu resposta ao consumo, isto é, quando

$$V(t) = 0;$$

N é o número de meses considerado (geralmente 12 meses);

Relativamente ao seu posicionamento, os reservatórios podem ser classificados como superficiais, parcialmente subterrâneos e subterrâneos. De uma maneira geral, os reservatórios superficiais são menos dispendiosos e de instalação mais fácil, mas são menos fiáveis que os



reservatórios subterrâneos, pois em grandes áreas de recolha drenadas por múltiplos tubos de queda, a filtragem pode tornar-se um problema. Em climas frios, os reservatórios de superfície apresentam a desvantagem de terem de ser esvaziados no Inverno, caso não estejam equipados com sistemas de isolamento que são geralmente muito dispendiosos, e no Verão a água armazenada em reservatórios superficiais aquece com maior facilidade, acelerando a actividade microbiológica e a degradação da qualidade da água armazenada (Sazakli, et al., 2007). Por outro lado, os tanques subterrâneos são mais discretos, visto estarem muitas vezes não visíveis e não serem afectados pelos fenómenos meteorológicos o que torna maior o seu período de vida útil. Contudo, o armazenamento subterrâneo de água torna-se duas a três vezes mais dispendioso que as soluções superficiais, em grande parte devido à escavação necessária para a sua instalação, mas também pela operação dos grupos de bombagem na sua operação, muito diferente dos reservatórios superficiais (Quadros, 2010). A tabela seguinte compara as vantagens e desvantagens de ambas as soluções:

**Tabela 3 - Comparação entre reservatórios superficiais e subterrâneos (Rodrigues, 2010 , adaptado)**

	Soluções Superficiais	Soluções Subterrâneas
<b>Vantagens</b>	Mais fácil instalação, manutenção e operações de reparação	Não ocupam espaço útil à superfície
	Maior variedade de materiais para a sua construção	Mais discretos
	Permite, muitas vezes, a adução gravítica	O terreno envolvente sustém as paredes do reservatório, que podem ser mais finas, e por isso mais económicas
	Menor investimento inicial	
<b>Desvantagens</b>	Ocupam espaço útil	A extracção de água requer maiores gastos de energia grupo de bombagem
	Maior risco de inundação	Mantém a água fresca e protegida da radiação solar
	Vulnerabilidade a fenómenos meteorológicos	Geralmente menos económicos
	Rápida degradação da água devido à sua maior exposição à radiação solar	Perdas de água são mais difíceis de detectar
		Possível contaminação da água por infiltração
		Vulnerável à degradação pelas raízes das árvores

Os reservatórios subterrâneos têm a capacidade de manter a água fresca e protegida da luz solar, e são por isso uma solução preferível quando o uso a que se destinam as águas pluviais requer maior qualidade da água.

Existem no mercado várias opções relativamente ao tipo de material de que são constituídos os reservatórios superiores, tais como o polietileno ou a fibra de vidro, entre outros. O polietileno é muito utilizado por ser mais leve que os restantes materiais. Além disso, os reservatórios de polietileno são estanques, resistentes a radiações ultravioleta, duráveis, e consideravelmente menos dispendiosos que reservatórios de outro material. São ainda mais fáceis de manusear, com fácil manutenção, e têm, comparativamente aos reservatórios de fibra de vidro, por exemplo, a vantagem de não transmitirem para a água substâncias tóxicas que interfiram com a sua qualidade.

De acordo com a Norma ETA 0701 da ANQIP, é recomendável que os reservatórios de um SAAP sejam constituídos por materiais que não propiciem reacções químicas com a água. Adicionalmente, os seus cantos devem ser arredondados para facilitar a sua manutenção, evitar o desenvolvimento de biofilmes e minimizar as zonas de estagnação. Estão disponíveis no mercado, por exemplo, reservatórios destinados a sistemas indirectos de aproveitamento de águas pluviais, feitos de polietileno de alta densidade e incluindo acessórios indispensáveis ao seu funcionamento, tais como a válvula solenóide e interruptores de nível (Rodrigues, 2010). A Figura 2 ilustra alguns exemplos destes tanques.



**Figura 2 - Exemplos de tanques elevados (Pastigama, Manutan e Ecodepur, respectivamente)**

A norma da ANQIP ETA0701 sugere a utilização da cor púrpura, também utilizada para redes de distribuição de águas residuais tratadas, ou de uma fita adesiva da mesma cor que contenha o texto “Rede não-potável” ou “Água não-potável”, ou equivalente. Analogamente, os dispositivos interiores de rega devem ser identificados pela mesma simbologia. Por razões de segurança, recomenda-se que estas torneiras de rega sejam dotadas de manípulos amovíveis ou de uma chave de segurança, por forma a evitarem-se usos inadequados das águas pluviais.



**Figura 3 - Exemplos de sinalética usados para águas recicladas (OregonLive, 2013)**

Outra importante componente de segurança do SAAP é o suprimento a partir da rede pública em caso de necessidade. É recomendável que todos estes sistemas sejam dotados de um sistema suplementar de abastecimento, para que o suprimento contínuo das necessidades hídricas seja assegurado quando não exista nos reservatórios do SAAP água em volume suficiente. Este suprimento de água deve ser realizado sem que haja interrupção do abastecimento, pelo que o SAAP deve estar dotado de um sistema que faça, de forma automática e segura, a comutação das fontes de abastecimento.

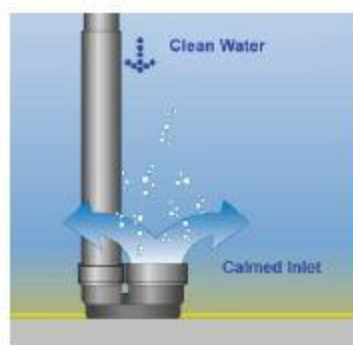
Para além dos reservatórios e da rede de tubagens, o bom funcionamento de um SAAP requer a instalação de diversos acessórios e equipamentos:

- Filtro – para remoção de partículas sólidas da água. Podem ser instalados no tubo de queda, antes do reservatório, ou após o mesmo. Os filtros de queda têm uma eficiência de remoção dos detritos, que permite que a qualidade da água armazenada seja suficientemente elevada para o uso das águas em sanitas (Quadros, 2010), sem necessidade de tratamentos adicionais. De facto, a maior parte dos sistemas que usam a águas das chuvas para uso nas descargas sanitárias não precisa de incluir a desinfecção da água. A Figura 4 ilustra a instalação de um filtro de queda.



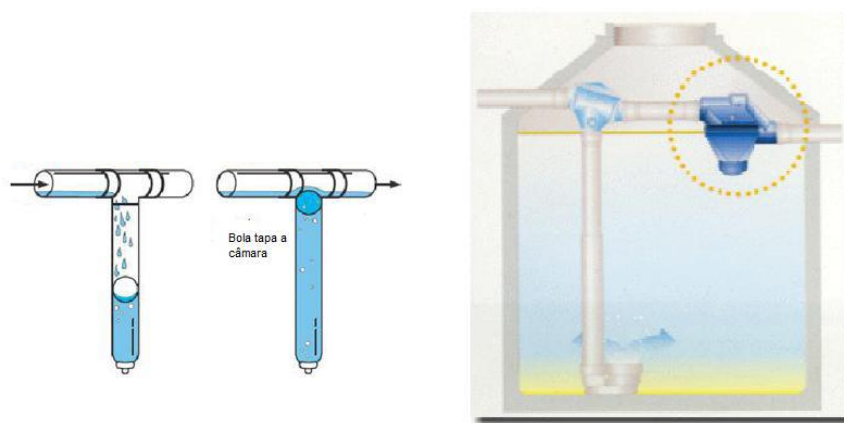
**Figura 4 - Exemplo do funcionamento de um filtro de queda (Rodrigues, 2010)**

- Dispositivo de entrada (de água no reservatório) – Após a filtração, é essencial manterem-se as condições aeróbias por oxigenação da água, de modo a manter a actividade biológica benéfica no fundo do reservatório. Esta oxigenação pode ser induzida conduzindo a tubagem que vem do filtro até ao fundo do reservatório, assegurando que não há ressuspensão dos sedimentos pela aplicação de um freio-de-água (Rodrigues, 2010). As Figuras seguintes mostram a actuação e aspecto destes dispositivos.



**Figura 5 - Freios-de-água para entrada da água no reservatório (Rodrigues, 2010)**

- Dispositivo para tomada de água – uma vez que a água mais limpa do reservatório se encontra imediatamente abaixo da superfície da água, a tomada de água deve ser dotada de um dispositivo flutuante de sucção. Este acessório é constituído por uma boia, equipada com um pequeno filtro e ainda uma válvula anti-retorno para maior segurança. A adaptação de uma mangueira flexível permite a captação de água a vários níveis do reservatório, sem prejudicar o sistema (Rodrigues, 2010).
- Dispositivo de *first-flush* – este desviador das primeiras águas da chuva impede, como referido, a contaminação das águas recolhidas por rejeição das primeiras águas (Sazakli, et al., 2007). Estes dispositivos têm um funcionamento simples: à medida que a água sobe na câmara do desviador de água, a bola flutuante no seu interior acompanha essa subida até à câmara estar cheia, altura em que a bola encaixa num redutor, selando-a; a restante água segue assim para a tubagem do SAAP. Estes dispositivos são geralmente instalados no tubo de queda de recolha de águas pluviais, e devem ser dimensionados de acordo com o volume de *first-flush* pretendido (Gikas & Tsihrintzis, 2012).
- Dispositivo de *overflow* – serve para escoar a água que ultrapassa a capacidade de armazenamento do SAAP, o que ocorre quando o sistema atinge a sua capacidade máxima (Mendez, et al., 2011). Na generalidade, estes dispositivos são constituídos por um sifão, como ilustrado na figura seguinte.



**Figura 6 - Sistemas de first-flush e overflow, respectivamente (Rodrigues, 2010)**

- Grupo de bombagem e acessórios – geralmente nos SAAP recorre-se a turbobombas, visto que fornecem um fluxo contínuo, desenvolvendo uma alta velocidade do fluido, e sendo capazes de produzir caudais elevados, embora para cargas hidráulicas relativamente baixas. Nestes sistemas é também comum considerarem-se bombas submersíveis, uma vez que evitam fenómenos de cavitação associados à diferença de altitude entre a bomba e a superfície do líquido (Plappally & Lienhard, 2012). Um grupo de bombagem inclui ainda um controlador de bomba, que combina a função de um interruptor de pressão com a de um interruptor de caudal, permitindo que a bomba se ligue e desligue automaticamente em função das necessidades de água, e oferecendo uma protecção adicional à bomba para que esta não trabalhe em seco.
- *Bypass* – permite comutar para a água da rede pública no caso de a água do reservatório se esgotar. Nos sistemas gravíticos, o *bypass* da rede pública pode ser directamente ligado aos reservatórios elevados através da instalação de uma válvula mecânica de três vias (Umapathi, et al., 2013).

## 1.2. Objectivos

Este trabalho tem como principal objectivo a análise da viabilidade da implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) no edifício universitário que constitui o *Campus* do Instituto Superior Técnico (IST) no *Taguspark*, em Oeiras. Para além da perspectiva mais comum de quantificação dos ganhos obtidos em termos de água consumida, pretende-se ainda comparar, do ponto de vista energético, o SAAP e o sistema tradicional de abastecimento do edifício.

## 1.3. Enquadramento legal e normativo dos SAAP

Apesar de praticado desde a antiguidade em culturas onde a escassez de água constituía um obstáculo à sua subsistência, o aproveitamento de águas pluviais carece ainda, na maior parte

dos países, de uma normalização bem definida. De facto, embora em alguns países como os EUA, existam já documentos com carácter de normalização ou mesmo obrigatoriedade da instalação de SAAP, na maior parte dos casos existem apenas guias de boas práticas com uma finalidade meramente indicativa acerca destes sistemas (USEPA - United States Environmental Protection Agency, Rainwater Harvesting - Conservation, Credit, Codes, and Cost, Literature Review and Case Studies, 2013). Enquanto alguns destes guias incidem mais sobre os pormenores técnicos da montagem e manutenção dos vários componentes destes sistemas, outros dedicam-se a especificar apenas os usos recomendáveis e/ou autorizados para as águas pluviais recolhidas. Note-se que, na maioria dos casos, a utilização de águas pluviais visa apenas os usos não potáveis, como a rega ou a lavagem de pavimentos e a descarga de autoclismos, com excepção das normas Australianas, em que o uso da água pluvial para fins de consumo humano é, em certas regiões do continente, uma necessidade (Dep.Health, Australian Government - Guidance on use of rainwater tanks, 1998). A Tabela 4 apresenta, sumariamente, exemplos de normas e guias de boas práticas de SAAP encontrados, a nível internacional.

**Tabela 4 – Regulamentos, normas e Guias de Boas Práticas Europeus e Internacionais relativos a SAAPs**

Normas e Guias Europeus
<p><b>Alemanha: (DIN1989:2001-10, Rainwater harvesting systems - Part 1: Planning, installation, operation and maintenance, 2002)</b></p> <p>Norma desenvolvida considerando as normas nacionais de sistemas de abastecimento de água (DIN 1988), de protecção contra a poluição das fontes de água potável (DIN EN1717), dos sistemas gravíticos de drenagem de água em edifícios (DIN EN 12056) e dos sistemas de drenagem de águas residuais (DIN 1986). Na Alemanha, os SAAP são objecto de registo obrigatório.</p> <p>Esta norma aplica-se a SAAP em edifícios residenciais, comerciais e industriais, em que a água recolhida se aplica a descargas de autoclismos, propósitos de limpeza, finalidades de arrefecimento, e regadio de zonas verdes. Ressalva-se a importância de que não exista possibilidade de que a qualidade da água para fins potáveis seja afectada. Recomenda-se para os SAAP o tratamento das águas pluviais nos reservatórios (filtração + sedimentação), sendo que o dimensionamento dos mesmos deve ter em conta a localização da instalação e a contaminação expectável das águas pluviais. Devem salvaguardar-se ainda as normas de protecção contra o ruído e combate a incêndio.</p>
<p><b>França: (NOR: DEVO 0773410A, Arrêté du 21 août 2008, relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, 2008)</b></p> <p>Este regulamento define as condições de utilização das águas pluviais recolhidas das coberturas inacessíveis dos edifícios e seus anexos, bem como as condições de instalação dos SAAP, da sua manutenção e vigilância. Tal como na maioria dos restantes regulamentos, encontra-se excluído desta norma o uso das águas pluviais para consumo humano, focando-se esta nos usos domésticos exteriores aos edifícios, na rega de espaços verdes, na descarga de instalações sanitárias, ou na lavagem de pavimentos. Em França, é interdita a instalação de SAAP em estabelecimentos de saúde, lares de idosos ou creches e infantários. Tal como na norma alemã, é notória uma preocupação de que os SAAP sigam as normas existentes de forma a evitar a possibilidade de contaminação dos sistemas de abastecimento de água para consumo humano.</p>

**Tabela 4 – Regulamentos, Normas e Guias de Boas Práticas Europeus e Internacionais relativos a SAAPs (continuação)**

---

**Inglaterra: (British Standards, Code of Practice - Guide to BS8515:2009, 2009)**

Esta norma dá recomendações acerca do desenho, instalação, teste e manutenção dos SAAP para usos domésticos não potáveis no Reino Unido, podendo ser aplicada a novos edifícios ou a edifícios já existentes. Nestes usos estão incluídos a lavagem de roupa, a descarga de autoclismos, e a rega de espaços verdes. Tal como as normas alemã e francesa, esta norma considera as normas nacionais aplicáveis aos sistemas de abastecimento de água (BS 4800:2006), aos sistemas gravíticos de drenagem de águas em edifícios (BS EN 12056 – Part 3: Roof drainage, layout and calculation and Part 4 – Wastewater Lifting Plants: layout and calculation) e ainda os dispositivos anti-inundação dos edifícios (BS ENB 13564).

A capacidade dos reservatórios pode ser calculada segundo uma das seguintes abordagens: uma abordagem simplificada para edifícios residenciais, em que as necessidades hídricas são constantes e não são necessários cálculos; uma abordagem intermédia, recorrendo a fórmulas simples para cálculo da capacidade de armazenamento com maior fiabilidade do que na abordagem simplificada uma abordagem detalhada, para sistemas não standardizados, em que as necessidades hídricas sofrem uma variação anual significativa (ideal para sistemas de grandes dimensões).

---

**Normas e Guias Internacionais**

**Austrália: (Dep.Health, Australian Government - Guidance on use of rainwater tanks, 1998)**

Na Austrália, o uso de SAAP domésticos é uma prática recorrente, particularmente nas áreas rurais e zonas mais remotas. Estima-se que em 2001 16% das habitações australianas estivessem equipadas com SAAP, sendo que para 13% destas este sistema constituía a fonte principal de água potável. No entanto, apesar de o uso de águas pluviais para fins de consumo humano não ser interdito, estas águas são ainda maioritariamente usadas na rega de jardins e espaços verdes, duches e lavagens.

No entanto, os parâmetros de qualidade dos SAAP vão de encontro àqueles definidos nas normas de qualidade da água para consumo humano (*Australian drinking water guidelines*). Ressalva-se que a escolha do uso a dar às águas pluviais recolhidas é da responsabilidade de cada indivíduo.

Assiste-se actualmente a um aumento dos incentivos governamentais para a instalação de SAAP, apesar de existirem algumas restrições legislativas relacionadas com a sua instalação e concepção. No entanto, é uma preocupação transversal, a de se evitar o cruzamento entre as águas pluviais e a água do sistema de abastecimento centralizado.

---



**Tabela 4 – Regulamentos, Normas e Guias de Boas Práticas Europeus e Internacionais relativos a SAAPs (continuação)**

---

**EUA: (USEPA - United States Environmental Protection Agency, Rainwater Harvesting - Conservation, Credit, Codes, and Cost, Literature Review and Case Studies, 2013)**

Apesar de serem bastantes os estados dos EUA afectados por escassez de água, não existe, a nível nacional, nenhum regulamento para a aplicação de SAAP. De facto, em 2010 apenas 10 estados tinham normas ou legislação relativas a estes sistemas, muitas vezes pouco explícitas em termos dos usos permitidos para a água recolhida.

As normas existentes variam entre o aproveitamento de águas pluviais como uma prática de conservação dos recursos hídricos, como o estado do Texas, e a recolha de pluviais como medida de controlo de cheias (Carolina do Norte). A publicação da International Association of Plumbing and Mechanical Officials (IAPMO), denominada “Green Plumbing and Mechanical Code Supplement”, de 2010, veio a revelar-se um importante documento de base para a criação de normas específicas de cada estado. No entanto, ressalva-se que nos EUA, mais do que a potabilidade da água ou a regulamentação dos seus usos, a questão da sua propriedade é bastante abordada nos diferentes documentos.

A título de exemplo, até há pouco tempo a recolha de águas pluviais era ilegal no estado do Colorado, sob o argumento de que diminuía a afluência dos caudais pluviais para os sistemas naturais e recarga de aquíferos. Por outro lado, no estado de S. Francisco, esta prática é recomendada para usos não potáveis como o regadio ou a descarga de autoclismos, podendo ser autorizada também para fins potáveis. A cidade de Tucson, no estado do Arizona, tornou-se a primeira cidade no país em que é obrigatória a instalação de SAAP em edifícios comerciais para fins de rega. Tal como em certas regiões da Austrália, também nos EUA a população beneficia de incentivos financeiros e fiscais para a instalação de SAAP.

---

**Índia: (Legislation on Rainwater Harvesting (Compilation), s.d.)**

Num país fortemente marcado pela escassez de água, vários estados da Índia decretaram, no decorrer dos últimos 15 anos, obrigatória a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Estes regulamentos incidem especialmente em novos edifícios com uma área superior a 1000 m<sup>2</sup>.

Em paralelo com a obrigatoriedade dos SAAP, regulamenta-se também a instalação de poços de infiltração para recarga das reservas de água subterrânea.

---

**Nova Zelândia: (Auckland Council, North Shore City Council, Rainwater Harvesting – Practice Note LB103, 2006)**

Nota prática especificamente focado na redução do escoamento superficial urbano, através da instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais ao nível residencial.

De facto, nas várias regiões Neozelandesas, os novos empreendimentos urbanos raramente são obrigados a suportar a instalação de SAAP sem o recurso a subsídios ou incentivos fiscais.

---

Em Portugal, a normatização do aproveitamento de águas pluviais é ainda inexistente. De facto, não existe legislação que regule especificamente o aproveitamento de água pluvial em usos urbanos não potáveis nos edifícios. Contudo, encontram-se já por todo o país exemplos de novas construções que contemplam estas práticas de aproveitamento de águas pluviais, apesar de não cumprirem o Decreto-regulamentar nº 23/95, referido adiante neste capítulo. São exemplos destas construções:



- A Escola Básica de Leça do Balio, em Matosinhos, cujas águas pluviais recolhidas são usadas nas descargas sanitárias e para fins de rega (Ecoágua, Apresentação U. Aveiro, 18 Fevereiro 2011);
- os edifícios de escritórios *Natura Towers*, em Telheiras, Lisboa, equipados com um SAAP no qual a água recolhida é usada para rega gota-a-gota das fachadas verdes verticais do edifício (Ecoágua, Apresentação U. Aveiro, 18 Fevereiro 2011);



**Figura 7 – Natura Towers, equipadas com um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais para fins de rega (Ecoágua, Apresentação U. Aveiro, 18 Fevereiro 2011)**

- e ainda a nova sede da empresa Seth, em Queijas, Oeiras, na qual, com o intuito de se diminuir o consumo de água da rede pública, instalou-se um sistema de aproveitamento de águas pluviais que, depois de tratadas, são utilizadas nas descargas das sanitas, nas torneiras de serviço das garagens (para lavagem de pavimentos) e, no exterior do edifício, para a rega dos jardins (Seth, 2014).

No entanto a instalação de SAAP é uma das medidas (Medida 8 – reutilização ou uso de água de qualidade inferior) preconizadas no Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA, 2005), que foi aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 113/2005, de 30 de Junho de 2005. Apesar desta medida ter interesse em termos de uso eficiente da água, a sua aplicação requer regulamentação técnica adequada, para evitar potenciais perigos para a saúde pública, a divulgação da tecnologia e uma maior disponibilização no mercado nacional dos equipamentos adequados. O aproveitamento de água pluvial para usos urbanos não potáveis também é referido nas medidas 38 (utilização da água da chuva em jardins e similares) e 45 (utilização da água da chuva em lagos e espelhos de água) do PNUEA. O PNUEA foi elaborado na sequência da publicação da Directiva Quadro da Água (DQA)

(Directiva n.º 2000/60/CE de 23 de Outubro), posteriormente transposta para a lei nacional através da Lei da Água (Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro) (DQA, 2000).

Adicionalmente, o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007 – 2013 (PEAASAR-II, 2007) aprovado pelo Despacho n.º 2339/2007 de 14 de Fevereiro de 2007, enumera o equilíbrio da oferta e da procura através da gestão da procura, do uso eficiente de água, do aumento da reutilização e da exploração de fontes alternativas (águas pluviais, águas subterrâneas salobras, águas marinhas e águas residuais tratadas) como uma das linhas de actuação estratégica para a consagração dos principais objectivos do mesmo.

Na legislação nacional, o conceito de águas residuais pluviais, ou simplesmente águas pluviais, aparece pela primeira vez no Decreto Regulamentar nº23/95, de 23 de Agosto (Ministério das Obras Públicas, 1995), como “as águas resultantes da precipitação atmosférica caída directamente no local ou em bacias limítrofes contribuintes”. No entanto, o mesmo decreto parece surgir como um obstáculo à viabilização das medidas de utilização de águas de qualidade inferior para usos compatíveis enunciadas no PNUEA, de acordo com o Relatório Técnico nº9 deste programa, preparado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que sumariza a análise feita aos documentos e regulamentações tendo identificado algumas disparidades entre os mesmos e os objectivos do PNUEA (Almeida, et al., 2006). De facto, o Artigo nº86 do referido Decreto Regulamentar proíbe a utilização da água não potável na habitação para outros usos que não a lavagem de pavimentos, rega, combate a incêndios e fins industriais não alimentares, excluindo a sua aplicação em usos em que a potabilidade não é necessária, como a descarga de autoclismos. Caso existam nas redes prediais canalizações com água de outras origens (por exemplo captadas em poços), o Decreto Regulamentar nº23/95, de 23 de Agosto, exige que estas redes sejam independentes da canalização da rede pública de abastecimento. Alguns regulamentos municipais referem no entanto que não são permitidas outras ligações à canalização interior dos prédios (como Setúbal, por exemplo).

Neste sentido, considera-se que em termos de normativização, o grande problema existente na utilização dos SAAP é a ausência de legislação específica e a existência de legislação que dificulta a sua aplicação, o que causa alguma estranheza e aponta para a necessidade de se proceder a uma actualização desta legislação. Em 2009 foi desenvolvido pela ANQIP (Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais) (ANQIP, 2013) um documento que oferece informação e linhas orientadoras para a utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Esta associação define-se como uma “ONGA sem fins lucrativos, que tem como objectivos gerais a promoção e a garantia da qualidade e da eficiência nas instalações prediais, com particular ênfase nas instalações de águas e esgotos, pela importância que têm no contexto de qualidade e conforto na habitação e pela dimensão dos problemas que geralmente lhe estão associados”. Na ausência de legislação nacional específica para os SAAP, a Comissão Técnica 0701 da ANQIP, fundada para o efeito, criou a Especificação Técnica 0701 da ANQIP, que visa estabelecer critérios para a realização de

sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios, para outros fins que não o consumo humano. Esta norma não exclui que, em termos gerais, a concepção, a instalação e a exploração dos SAAP devem respeitar a legislação, a regulamentação e a normalização nacionais e europeias existentes e aplicáveis a estas instalações ou a qualquer um dos seus referidos componentes. Adicionalmente, esta norma enuncia que os SAAP devem também respeitar as normas existentes e aplicáveis relativas a ruído e vibrações. Em paralelo com esta especificação técnica, a mesma comissão técnica criou a Certificação ANQIP de Instalações SAAP (a ETA 0702). Para obtenção desta certificação num SAAP, exige-se a apreciação prévia do projecto pela ANQIP, a realização de vistorias à obra, a certificação de instaladores e a existência de um contrato ou plano de manutenção.

Posto isto, enumeram-se aqui alguns aspectos que se consideram essenciais na elaboração de um documento de referência para a concepção e instalação de SAAP:

- Como já brevemente referido nos artigos 86º e 202º do DL nº 23/95 de 23 de Agosto, é essencial a clara identificação das redes e dos dispositivos que transportem a água não potável, começando pelo estabelecimento de um código de cor para estas condutas;
- No que respeita às redes prediais, considera-se que deveria ser obrigatória a separação no interior do edifício da drenagem de águas pluviais, das águas cinzentas e das águas negras, por forma a facilitar-se a instalação de um SAAP ou outros sistemas de reutilização de águas residuais para usos compatíveis;
- Finalmente, na concepção de novos jardins e espaços similares, deverá estar previsto um sistema de recolha e aproveitamento das águas pluviais, sob a forma de um lago ou espelho-de-água, que possam depois ser aproveitadas para a rega do espaço (Oliveira, 2008).

## **1.4. Apresentação do estudo de caso**

### *1.4.1. Gestão da Água no Município de Oeiras*

Nesta dissertação, avaliar-se-á a viabilidade de implementação de um SAAP no edifício universitário que constitui o *Campus* do Instituto Superior Técnico no *Taguspark*, na freguesia de Porto Salvo, no Município de Oeiras.

O município de Oeiras encontra-se na região Oeste da Área Metropolitana de Lisboa, na sub-região da Grande Lisboa na margem Norte do rio Tejo, e pertence ao aglomerado urbano contínuo de Lisboa. Com uma população de aproximadamente 168 475 habitantes (em 2011), e uma área de 45,7 km<sup>2</sup>, este município é delimitado a Norte e Oeste pelas fronteiras com os municípios de Sintra e Cascais, respectivamente, e a Este pelos limites de Lisboa e Amadora, sendo delimitado a sul pelo rio Tejo. Oeiras está dividida em 10 freguesias, até há algumas décadas fortemente marcadas por actividades rurais, embora recentemente a sua proximidade à cidade de Lisboa tenha contribuído para a expansão do sector terciário, nomeadamente das áreas financeiras. A componente industrial do município inclui metalurgias, cerâmicas,

materiais de construção, papel e ainda alguma indústria têxtil (Oeiras, 2014). A freguesia de Porto Salvo, que aloja o *Campus* do IST no *Taguspark*, localiza-se no extremo sudoeste do município de Oeiras, fazendo fronteira com Sintra e Cascais, e tem uma área total de 7,3km<sup>2</sup>, alojando cerca de 10 074 habitantes (em 1991), que trabalham nas indústrias e serviços comerciais da região (Porto-Salvo, 2014).

O município de Oeiras publicou, em 2007, uma Matriz da Água, que reúne informação do balanço hídrico do município, analisa os consumos de água sectoriais e identifica oportunidades de melhoria de políticas municipais de gestão da água e águas residuais. De acordo com este documento, a distribuição de água potável em Oeiras é da responsabilidade dos serviços municipalizados SMAS de Oeiras e Amadora, sendo a água que entra no município captada, tratada e transportada pela EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres. A água abastecida pela EPAL é transportada desde a estação elevatória por três condutas de grandes dimensões, sendo depois armazenada em dez reservatórios estrategicamente distribuídos no município, com uma capacidade total de 63 900 m<sup>3</sup>, garantindo o abastecimento do município durante cerca de dois dias sem escassez de água. Desde os reservatórios, a água chega aos consumidores finais através de uma rede de distribuição de mais de 677 km (SMAS Oeiras e Amadora, 2007).

A Figura 8 ilustra o sistema de abastecimento de água da EPAL (no ano de 2010), na qual é possível identificar-se o Adutor Circunvalação (verde-claro) como o maior adutor responsável pelo abastecimento de Oeiras. Esta conduta de 47 km liga a estação elevatória de Vila Franca de Xira II e o Reservatório de Vila Fria, em Porto Salvo, tendo um diâmetro que varia entre 1,2 e 1,8 m e um caudal diário de 410 000 m<sup>3</sup>. O Sistema de Circunvalação compreende um total de 28 reservatórios, 31 estações elevatórias e 22 pontos de cloragem, tratando e transportando água captada maioritariamente nas captações superficiais de Castelo de Bode, em Tomar, e Valada do Tejo (EPAL, 2010).



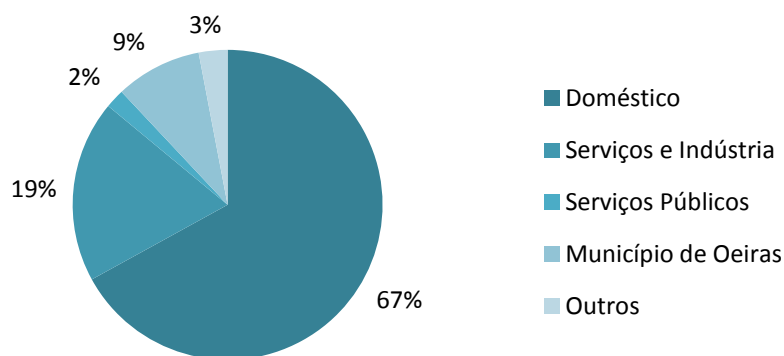


Figura 9 – Sistema de distribuição de água dos SMAS de Oeiras e Amadora (SMAS Oeiras e Amadora, 2007)

Como se pode observar na Figura 9, o mencionado Adutor Circunvalação da EPAL fornece água que fica armazenada no Reservatório de Vila Fria, com 50 000 m<sup>3</sup> de capacidade e situado a uma cota de 117 m. Daqui, a água flui graviticamente até aos dois reservatórios de Porto Salvo, com 5.000 m<sup>3</sup> cada, sendo finalmente distribuída até aos consumidores pela rede de distribuição dos serviços municipalizados. Este sub-sistema de Porto Salvo compreende uma área de 1,53 km<sup>2</sup> e uma rede de 41 091 m, servindo ainda as freguesias de Paço de Arcos, Caxias e Barcarena.

Em 2006, a capitação diária de água para o município de Oeiras ascendeu aos 252l/hab.dia, mas apenas 186 l/hab.dia corresponderam a consumos de água com fins domésticos. A Figura 10 ilustra a distribuição dos consumos de água em Oeiras agrupados por sector de actividade.

**Consumo de água por sector de actividade em Oeiras**



**Figura 10 - Consumo de água por sector de actividade em Oeiras (SMAS Oeiras e Amadora, 2007)**

Visto tratar-se de uma universidade pública, o Campus da universidade, engloba-se na categoria Serviços Públicos, cujos consumos correspondem a 2% da totalidade da água consumida no município. Graças à localização competitiva do município no que respeita à fixação de serviços, esta categoria demonstra ser muito relevante em termos de consumos de água (talvez até com maior peso do que os consumos industriais) e é expectável que continue em expansão (SMAS Oeiras e Amadora, 2007).

É ainda de salientar que os consumos municipais associados às actividades da Câmara Municipal de Oeiras corresponderam, em 2006, a 9% do consumo total do município, o que é bastante significativo. De modo a diminuir estes consumos municipais, foi criado o Plano Estratégico da Água da Câmara Municipal de Oeiras. Este plano contempla a redução de consumos de água associados à rega de espaços verdes e lavagem de ruas, contentores de resíduos e veículos municipais. Actualmente, estes consumos estão assentes em recursos hídricos subterrâneos. Assim, considerando a escassez e limitação destes recursos subterrâneos locais, o referido plano procura encontrar soluções para dar resposta às



necessidades municipais de água, a par da monitorização de cursos de água e eliminação de fontes de poluição capazes de afectar a sua qualidade. Por conseguinte, foi criado o Projecto Neptuno, um modelo integrado de gestão de rega de espaços verdes urbanos, que se baseia numa análise diária das condições atmosféricas de modo a determinar o tempo necessário para a rega, transmitindo automaticamente essas instruções aos jardineiros municipais.

#### *1.4.2. O Campus do IST no Taguspark, Oeiras*

O *Campus* do IST em Oeiras foi inaugurado em 2009, no *Taguspark*, que se assume como um dos mais importantes pólos tecnológicos do país, em termos de oferta de condições para ensino e educação. Neste edifício são leccionadas as cadeiras de Engenharia Electrónica e de Computadores, Engenharia de Redes e Comunicações, Engenharia e Gestão Industrial e Engenharia Electrónica, estando ainda equipado com laboratórios associados às ciências electrónicas (IST, 2013).



**Figura 11 - O Campus do IST no Taguspark**

#### *1.4.3. Redes de água no Campus do IST no Taguspark*

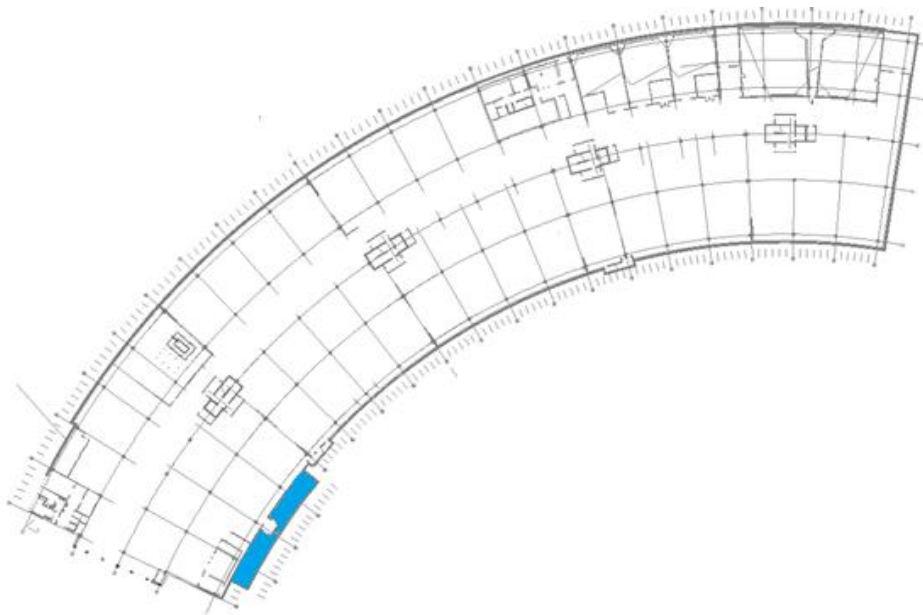
##### *a) Rede de Abastecimento de Água*

A rede predial de água potável no *Campus* do *Taguspark*, destinada ao consumo humano, combate a incêndios e usos laboratoriais é constituída por tubagens em aço galvanizado, de acordo com as normas técnicas nacionais (NP45, NP479, NP513, NP550 e NP1855), e



homologada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Estas tubagens têm um diâmetro que varia dos 15 aos 100 mm, dependendo do seu enquadramento na rede, podendo estar inclusas nas paredes e pavimentos do edifício, ou à vista, no caso das tubagens laboratoriais. No contexto deste trabalho, é relevante referir-se que as especificações relativas ao abastecimento de água para descarga de autoclismos são de 12 mm de diâmetro e 1.8 mm de espessura, preparados para um caudal de 0,10 l/s (Pardal-Monteiro, 2006).

O fornecimento de água para combate a incêndio é assegurado por 2 reservatórios semienterrados de grandes dimensões, de 50 m<sup>3</sup> de capacidade cada, instalados abaixo da cota do terreno. Estes reservatórios localizam-se na fachada norte do edifício, à esquerda da sua entrada principal. A água contida nestes reservatórios, em situação de emergência, é pressurizada num grupo de bombagem afecto aos tanques, constituído por um grupo hidropneumático por sua vez activado por um motor eléctrico alimentado pela rede de electricidade local ou por um gerador de emergência se necessário. O caudal desta rede de combate a incêndio pode variar dos 10 aos 15 m<sup>3</sup>/h, com uma pressão média de 2,5 kg/cm<sup>2</sup>. A Figura 12 mostra a localização destes reservatórios semienterrados edifício.



**Figura 12 - Reservatórios enterrados de combate a incêndio, IST Campus Taguspark**

Na legislação portuguesa, a norma NP839 recomenda um volume de 25 m<sup>3</sup> para locais com não mais de 1000 habitantes, e entre 25 e 50 m<sup>3</sup> em locais com 1000 a 10 000 habitantes. Estes requisitos mínimos devem ser respeitados e podem ser significativamente superiores em casos especiais onde o risco conhecido de incêndio seja elevado, bem como em locais de importância patrimonial (MARN, 1991). Assim, a capacidade mínima de um reservatório para um edifício como o do Campus, é de 50 m<sup>3</sup>. No entanto, o Decreto Regulamentar nº23/95 define 75 m<sup>3</sup> como a capacidade mínima para um reservatório de combate a incêndio num local de baixo risco (edifícios residenciais térreos), até a um máximo de 300 m<sup>3</sup> ou superior para locais de elevado risco (edifícios altos ou áreas densamente urbanas) (Pedroso, 2000). Comparativamente, deve referir-se que em França, por exemplo, o volume mínimo requerido para estes reservatórios sempre que o caudal da rede de abastecimento não se revele suficiente para o eficaz combate a incêndio, é de 120 m<sup>3</sup>, correspondendo a um caudal bombado de 60m<sup>3</sup>/h durante duas horas (MARN, 1991).

#### *b) Drenagem de águas pluviais*

No que diz respeito ao sistema de drenagem de águas pluviais do edifício, é relevante ter em conta que este é um sistema separativo relativamente à drenagem de águas residuais, o que nem sempre acontece em edifícios mais antigos. A rede interior ao edifício é acessível no edifício do *Campus*, em paredes e pavimentos, de acordo com as especificações portuguesas para drenagem de águas residuais (Pedroso, 2000), sendo essencialmente constituída por tubagens de aço galvanizado com excepção da rede no piso térreo constituída por PVC. As águas pluviais são recolhidas na cobertura do edifício, como se ilustra na Figura 13, em escoadouros de ferro fundido instalados na extremidade do edifício, sendo encaminhadas para as goteiras no nível térreo, a uma cota de 150,7 m (Pardal-Monteiro, 2006).

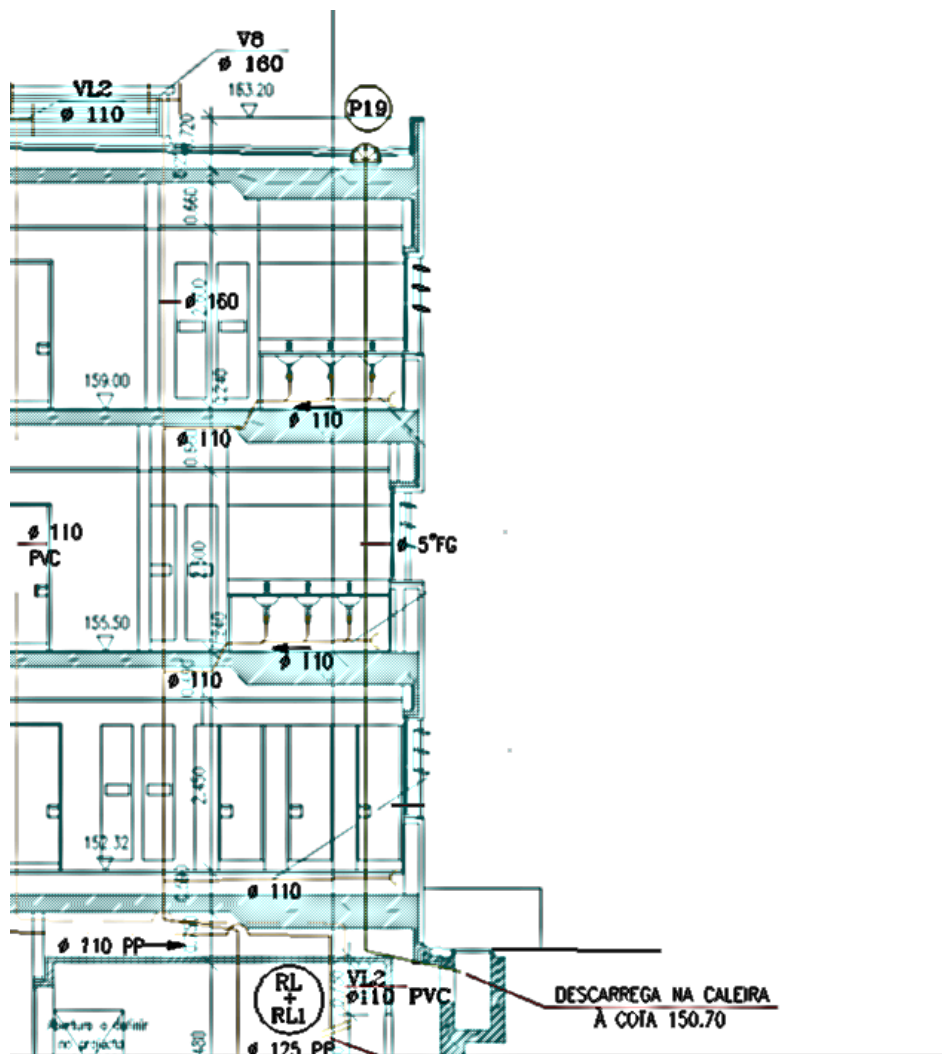
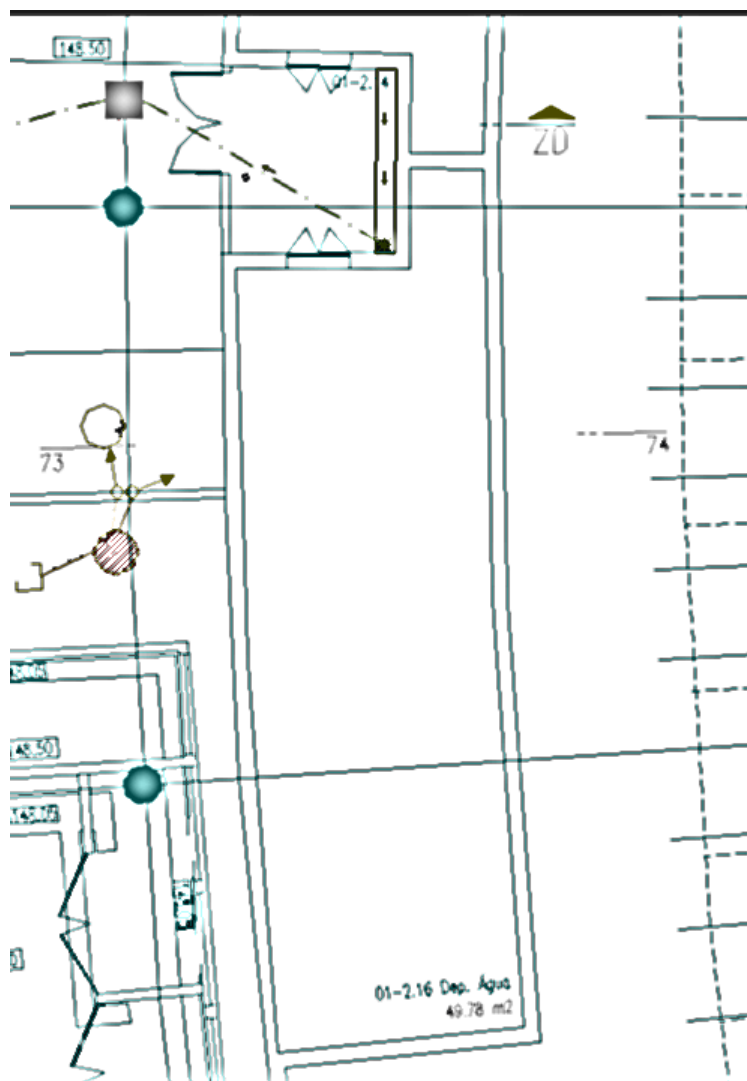


Figura 13 - Rede predial de drenagem de águas pluviais no IST, Campus Taguspark (Pardal-Monteiro, 2006)

Estas goteiras descarregam as águas pluviais numa caixa de visita que, contrariamente àquelas destinadas às águas residuais, não necessita de câmara de separação, descarregando posteriormente na rede de drenagem municipal. As únicas excepções são as águas pluviais recolhidas nos parques de estacionamento afectos ao edifício, que, de acordo com o Decreto-lei nº 66/95 de 8 de Abril, requerem a separação de lamas e hidrocarbonetos através de uma câmara de retenção com uma capacidade mínima de 3 m<sup>3</sup>. No entanto, estes últimos efluentes não foram considerados no âmbito desta dissertação, avaliando-se apenas os volumes de águas pluviais precipitados directamente na cobertura do edifício. A Figura 14 ilustra o detalhe da conexão do sistema de recolha de águas residuais no edifício e a rede de drenagem local.





**Figura 15 - Reservatórios de combate a incêndio (detalhe)**

*c) Drenagem de águas residuais*

A rede de drenagem de águas residuais do edifício foi desenhada de acordo com as práticas comuns para este género de edifícios, isto é, com as tubagens incluídas nas paredes ou pavimentos. Como referido, a rede predial de águas residuais e a rede de drenagem de águas pluviais são independentes neste edifício, assim como a rede de efluentes laboratoriais, tipicamente de composição química mais intensa e que requer um tratamento especializado. Estes efluentes laboratoriais são assim encaminhados para câmaras de estabilização antes da sua confluência com a rede municipal de drenagem de água residuais. Finalmente, os efluentes provenientes das cozinhas são também encaminhados para uma câmara de retenção de gorduras antes de confluírem com a rede municipal de drenagem.

De acordo com a regulamentação nacional, a rede é constituída por tubagens de PVC, homologadas pelo LNEC, cujo diâmetro varia entre 75 e 250 mm. As câmaras de inspeção para as águas residuais são adequadas aos condicionantes sanitários destes efluentes, sendo

constituídas por anéis de betão pré-fabricados com 1 m de diâmetro. No *Campus* do *Taguspark*, a cota destas câmaras é de 148,50 m, correspondendo à cota do piso térreo do edifício.

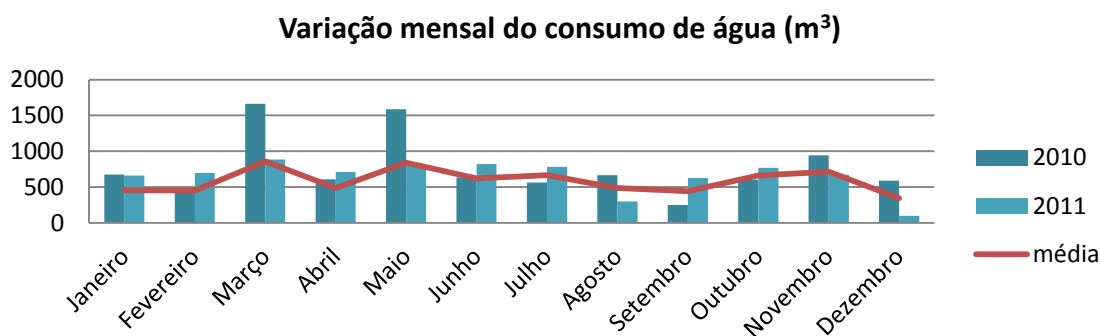
#### 1.4.4. Consumos de água no edifício e facturação

As facturas de água do edifício emitidas pelos SMAS de Oeiras e Amadora, nos anos completos de 2010 e 2011 foram analisadas de modo a avaliar-se a existência de padrões de consumo. A Tabela 5 sumariza os consumos mensais do *Campus* neste período de tempo e a Figura 16 ilustra esses resultados. Ressalva-se que estes consumos são relativos à totalidade do *Campus* e não apenas ao edifício em estudo, englobando, para além deste, a rega dos espaços verdes exteriores ao mesmo, e os eventuais consumos do campo de jogos.

**Tabela 5 - Consumos mensais de água do *Campus* do IST no *Taguspark***

Água consumida (m <sup>3</sup> )			
	2010	2011	Média
Janeiro	674	662	457,3
Fevereiro	427	699	452,7
Março	1664	885	859,3
Abril	609	713	488,7
Maio	1587	809	842,3
Junho	637	824	622,0
Julho	564	783	665,7
Agosto	667	298	485,7
Setembro	251	625	443,0
Outubro	603	768	659,7
Novembro	942	670	715,3
Dezembro	591	97	344,0
TOTAL	9216	7833	

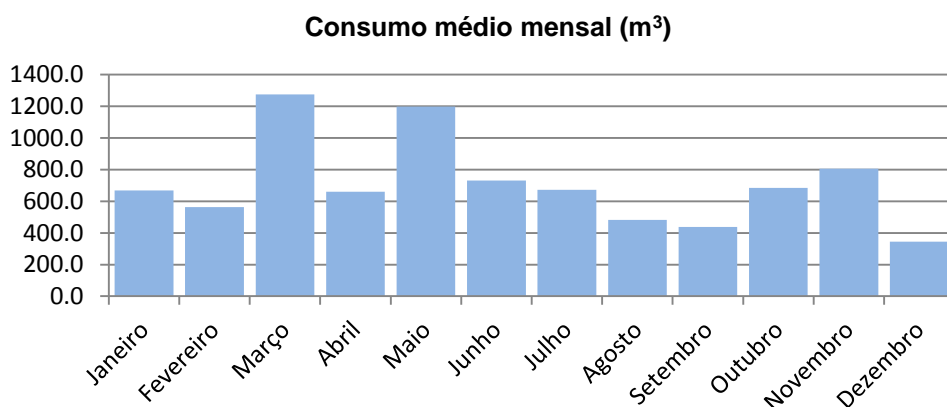
**Legenda:**  
Medida  
Estimada



**Figura 16 - Variação mensal do consumo de água no IST**

O volume total de água consumida no edifício decresceu no curto período de análise, sendo o total de água consumida em 2010 de 9 216 m<sup>3</sup>, decrescendo 15% em 2011 (7 833 m<sup>3</sup>), em relação ao ano anterior.

Em média, os meses com maiores necessidades hídricas corresponderam, como seria de esperar, aos períodos de maior intensidade escolar, isto é, os picos do 1º semestre de aulas, em Março e Maio, e do 2º semestre, em Outubro e Novembro. Esta variação mensal em termos de consumo pode ser observada na Figura 17.



**Figura 17 - Consumo médio mensal de água no IST, Taguspark**

Os meses com menores consumos correspondem aos períodos de férias escolares: em Dezembro, Janeiro e Fevereiro, a ausência de estudantes deve-se às celebrações de Natal e época de exames (altura em que os alunos passam apenas curtos períodos do dia no edifício), enquanto em Abril se deve às férias da Páscoa e em Agosto e Setembro são tipicamente as férias de verão entre anos lectivos. Não obstante, mesmo nos períodos sem aulas, os consumos de água não decrescem totalmente, devido às diversas actividades existentes no edifício, que não interrompem o seu funcionamento, como sejam os gabinetes dos professores e investigadores, laboratórios, os serviços administrativos, e a cozinha e cafetarias.

Naturalmente, estes consumos mensais reflectem-se no valor das facturas de água do *Campus*, como se demonstra na Tabela 6 e na Figura 18.

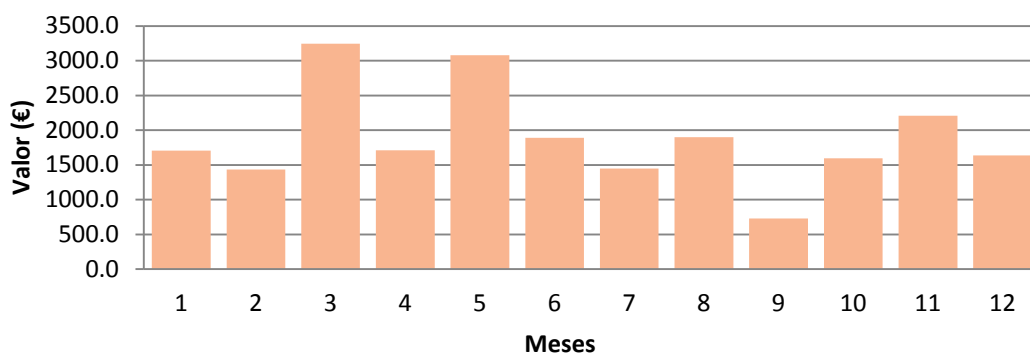
**Tabela 6 - Água facturada ao IST**

Facturas (€)			
	2010	2011	Média
Janeiro	1716,94	1694,95	1235,5
Fevereiro	1091,15	1779,86	1005,0
Março	4225,21	2262,78	2382,0
Abril	1557,42	1865,01	1182,7
Maio	4047,99	2109,46	2194,9
Junho	1631,29	2147,65	1390,7
Julho	1445,42	(-)	1306,1
Agosto	1707,68	2092,75	1851,6
Setembro	648,42	808,3	932,2
Outubro	1544,72	1640,94	1474,4
Novembro	2407,91	2005,06	2019,0
Dezembro	1514,16	1755,52	1573,2
TOTAL	23538,31	20162,28	

Legenda:

Cobrado

(-) sem dados



**Figura 18 - Facturação média mensal, IST Taguspark**

No que respeita à tarifa aplicada por m<sup>3</sup> de água consumida<sup>1</sup>, a tendência foi crescente para este mesmo período de tempo: em Janeiro de 2010 a tarifa da água era de 2,5336 €/m<sup>3</sup>, mas

<sup>1</sup> Devido à sua natureza de instituição pública, o IST encontra-se livre de taxas adicionais sobre estes valores (Tarifa 530 – Estado e Pessoas de Direito Colectivo).

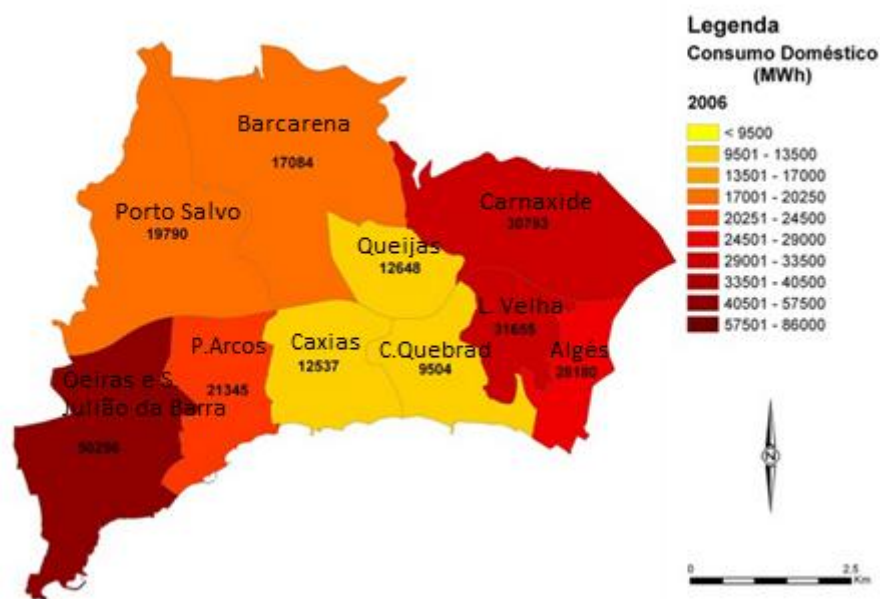


em Junho do mesmo ano aumentou 0,5% para 2,5463 €/m<sup>3</sup>. Em 2011 o preço da água permaneceu constante, voltando a subir 3% em 2012 até à actual tarifa de 2,6227 €/m<sup>3</sup>.

#### *1.4.5. Gestão da Energia no Município de Oeiras*

Relativamente aos consumos energéticos de Oeiras, devem ter-se como referência os dados da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG). De acordo com os relatórios deste gabinete, o Município de Oeiras, em 2009, gastou um total de 809 353 537 kWh de energia, dos quais 1 188 592 kWh (aproximadamente 0,14%) corresponderam ao sector da água, incluindo a captação, tratamento e distribuição. Deste total, 498 412 kWh corresponderam a energia de alta tensão, e 690 180 kWh de baixa tensão.

No mesmo ano, Oeiras assinou o *European Covenant of Mayors*, um movimento europeu envolvendo autoridades locais e regionais, que voluntariamente se comprometeram a aumentar a eficiência energética e a integração de energias renováveis nos seus territórios, de modo a cumprir ou mesmo exceder as metas da União Europeia de redução de 20% das emissões de CO<sub>2</sub> até 2020. Analogamente à Matriz da Água municipal, a empresa municipal para a energia, Oeinerge, desenvolveu em 2009 uma Matriz Energética para Oeiras. Este documento reúne informação precisa sobre a distribuição sectorial dos consumos energéticos, incluindo uma análise prospectiva da sua evolução a longo e médio prazo. Este instrumento pretende ajudar a fundamentar processos de decisão para alcançar níveis superiores de eficiência energética e sustentabilidade do uso de recursos, sem com isso afectar a qualidade de vida dos habitantes de Oeiras. Relativamente ao desempenho energético de Oeiras, foi contabilizado um consumo anual de 8,34 MWh/hab, um valor inferior à média nacional de 11,6 MWh/hab. Contudo, espera-se que estas necessidades energéticas venham a aumentar significativamente até 2030 devido à urbanização do município, particularmente nos subsectores doméstico e de transportes (Oeinerge, 2013). Apesar de as actividades do sector terciário se destacarem no contexto do município, os sectores doméstico e de serviços foram, em 2006, responsáveis pela maior parcela de consumo de energia. A Figura 19 evidencia a variação dos consumos domésticos de energia nas freguesias de Oeiras.



**Figura 19 - Consumo doméstico de electricidade em Oeiras, por freguesia (Oeinger, 2013)**

Como esperado, as freguesias com necessidades mais elevadas de energia correspondem àquelas com maior número de habitantes residentes e/ou maior fixação de actividades económicas e serviços (Carnaxide, Linda-a-Velha e Oeiras e São Julião da Barra).

Os impactos da expansão do sistema de abastecimento de água, em termos da sua distribuição mas também a renovação das estruturas de captação e transporte, são evidentes quer na análise das necessidades totais de energia, quer em termos da própria intensidade energética da rede. Esta expansão foca-se, numa primeira fase, na redução das perdas físicas de água nas redes, o que resulta em maiores intensidades energéticas. Adicionalmente, o crescimento das necessidades de água no sector doméstico para corresponder a padrões mais elevados de conforto e condições de vida, conduzirá a um aumento das necessidades energéticas associadas (Oeinger, 2013).

## 2. METODOLOGIA

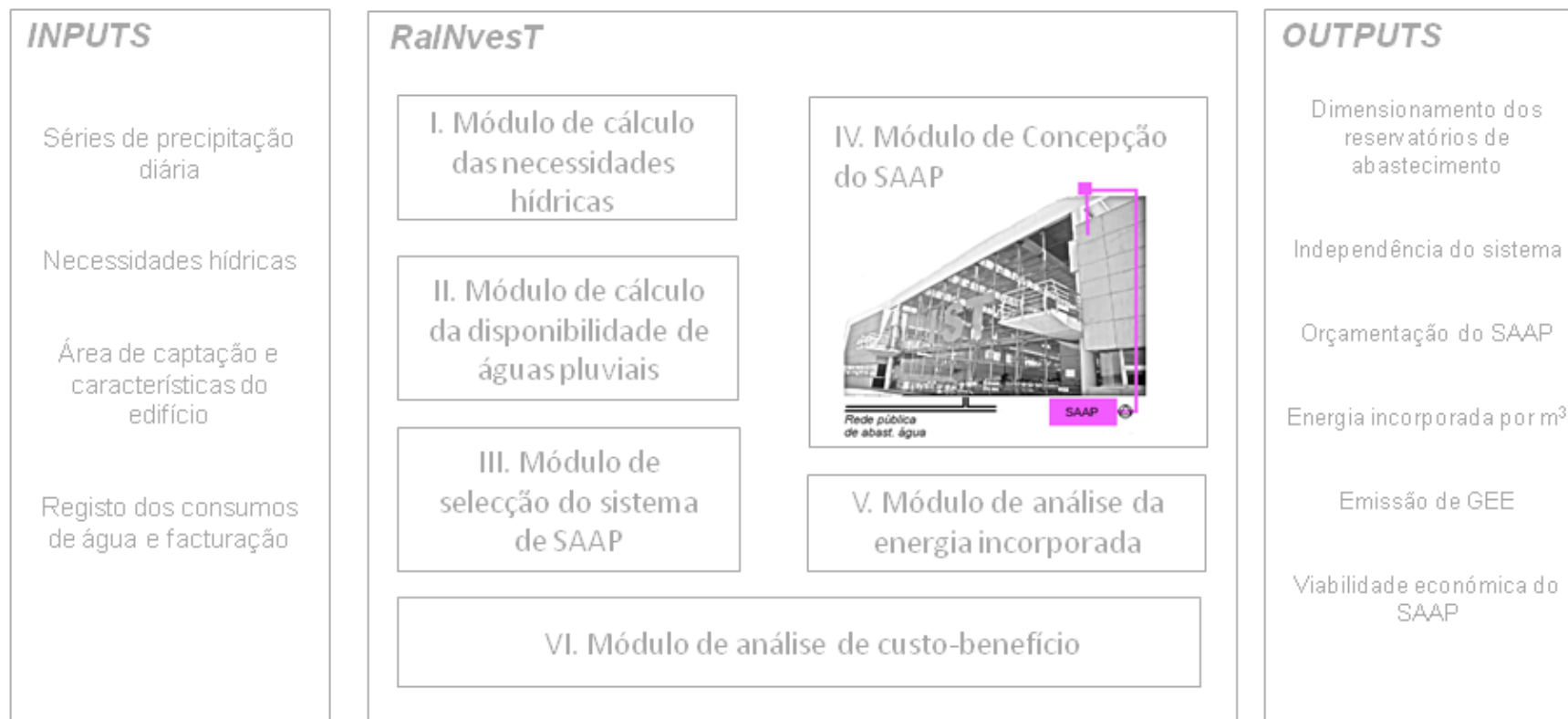
De acordo com os objectivos propostos para este trabalho, de análise da viabilidade da implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais no edifício universitário que constitui o *Campus* do Instituto Superior Técnico (IST) no *Taguspark*, em Oeiras, foi desenvolvida a ferramenta designada *RaINvesT – Rainwater harvesting INvestment analysis Tool*. Esta ferramenta (Figura 20) permite avaliar a viabilidade destes sistemas através de uma análise custo-benefício que avalia o retorno do investimento de instalação e operação por parte da entidade gestora de serviços de água.

Para tal, são necessários dados de entrada como as séries de precipitação diária da estação mais próxima do edifício. No que respeita às características do edifício em estudo, importa ainda ter uma estimativa da área de captação possível e do material que a constitui, bem como das várias necessidades previstas para os vários usos a que a água pluvial recolhida se destinará.

Como *outputs* da ferramenta tem-se o dimensionamento dos reservatórios necessários, de acordo com o volume de água que é conveniente armazenar, assim como da rede de distribuição da água recolhida, grupos de bombagem e restantes acessórios. De acordo com a série de precipitação trabalhada, a ferramenta analisa a viabilidade deste sistema através da percentagem de dias em que o SAAP consegue satisfazer as necessidades hídricas do edifício sem recorrer à rede pública de abastecimento, a percentagem de dias em que é apenas parcialmente dependente da mesma, ou de dias em que é totalmente dependente. Com esta informação, é possível fazer-se uma orçamentação do SAAP relativamente à sua concepção e operação, parâmetro relevante para a análise de custo-benefício. Outro dos principais outputs desta ferramenta é o indicador de energia incorporada, expresso em kWh/m<sup>3</sup>, que permite comparar com o mesmo índice relativo à rede pública de abastecimento. Através da determinação da energia necessária à operação de cada sistema, podem ser calculadas as emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) associadas aos dois sistemas e assim obter as *proxies* dos impactos de ambos.

Conceptualmente, a *RaINvesT* encontra-se dividida em 6 módulos operacionais, embora interdependentes (Figura 20), que serão neste capítulo explicados em maior detalhe:

- I. Módulo de cálculo das necessidades hídricas
- II. Módulo de cálculo da disponibilidade de águas pluviais
- III. Módulo de selecção do tipo de sistema
- IV. Módulo de concepção do SAAP
- V. Módulo de análise da energia incorporada
- VI. Módulo de análise de custo-benefício



**Figura 20 - Metodologia da ferramenta *RaINvest***

## **I. Módulo de cálculo das necessidades hídricas**

A estimativa dos volumes de água necessários é um passo fundamental no dimensionamento de um SAAP, na medida em que condicionam as dimensões dos reservatórios necessários. Em Portugal, na já referida Especificação Técnica 0701 da ANQIP (ANQIP, 2013) é apenas considerada a concepção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para outros fins que não o consumo humano, tais como as descargas de autoclismos, a utilização de máquinas de lavar a roupa, limpezas e rega de espaços verdes.

Para a determinação das necessidades hídricas com a ferramenta *RaINvesT*, seleccionam-se primeiramente os usos a que se destina a água pluvial captada, adaptados a cada caso de estudo. A captação de água para cada uso pode ser obtida com recurso à literatura existente, como a tabela da ANQIP relativa aos consumos unitários e anuais por dispositivo e/ou utilização (ver ANEXO II), contida na ETA 0701, ou semelhantes. Preferencialmente, no entanto, deverá proceder-se à medição física do volume de água necessário, por utilização, em cada um dos usos de água não potável do edifício, ou ainda consultarem-se as especificações de cada dispositivo para inferir esses mesmos volumes. Por último, somam-se as necessidades obtidas para cada um dos usos por forma a determinarem-se as necessidades totais diárias. Todos os cálculos explicados neste capítulo são desenvolvidos numa folha de cálculo criada para o efeito, e que materializa a *RaINvesT*.

## **II. Módulo de cálculo da disponibilidade de águas pluviais**

### *Análise Estatística Pluviométrica*

Uma análise estatística de séries de precipitação é essencial no dimensionamento hidrológico, de forma a assegurar que os dados hidrológicos têm a fiabilidade necessária. Assim, previamente à análise exploratória desses dados, deve ser validada a origem dos registos, assim como avaliada a sua qualidade e coerência como amostras estatísticas dos fenómenos naturais que representam. Para estas séries de precipitação diária, geralmente usadas no cálculo de SAAP, são calculadas a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria. O primeiro é o mais comum dos parâmetros estatísticos a calcular, representando o “centro de gravidade” da série, enquanto o desvio padrão é representativo do comportamento de um conjunto de desvios a essa média. Se a série de dados tem uma dispersão significativa, os desvios relativos à média assumem um coeficiente mais significativo. O coeficiente de assimetria, por sua vez, avalia a simetria da amostra. Numa distribuição assimétrica positiva, os desvios positivos são preponderantes em relação aos negativos, e vice-versa para uma distribuição assimétrica negativa.

### Disponibilidade de águas pluviais

É aceite que deve preferencialmente recorrer-se a valores de precipitação diária para garantir um dimensionamento mais preciso do tanque de armazenamento (Rodrigues, 2010), sendo que este dependerá também do volume de águas pluviais disponível e, consequentemente, da respectiva necessidade de armazenamento. A Especificação Técnica da ANQIP (ETA0701) recomenda o uso da Equação 1 para determinar o volume das águas pluviais disponíveis, que é assim usada neste módulo da ferramenta *RaINvesT*:

$$\text{Equação 1} \quad V = C.P.A.\eta_f$$

Em que,

V corresponde ao volume anual de precipitação útil (em litros),

C ao coeficiente de escoamento,

P à precipitação útil total acumulada (mm),

A à área de drenagem (m<sup>2</sup>)

e  $\eta_f$  corresponde à eficiência da filtração do reservatório.

Seguidamente, definem-se alguns conceitos presentes nesta equação:

- Precipitação útil (P) – No aproveitamento de águas pluviais é recomendável que as primeiras águas, devido à potencial contaminação, não sejam armazenadas. Assim, considerando a extensão do semestre seco em Portugal, a instalação de um dispositivo de *first-flush* é aconselhada – este dispositivo deve excluir as primeiras águas colhidas na superfície de drenagem, visto que arrastam consigo a maior parte da contaminação nesta acumulada. Comummente, a altura de *first-flush* adoptada é de cerca de 2 mm. Assim, o valor de precipitação útil é dado pela diferença entre a precipitação real e a altura de *first-flush*.  
Caso se opte por um critério temporal de *first-flush*, é aconselhável que se rejeitem as águas precipitadas nos primeiros 10 minutos do evento de precipitação, apesar de se considerarem com frequência tempos mais curtos, na ocorrência de fenómenos de precipitação com mais de 4 dias (ANQIP, 2013).
- Área de Drenagem (A) – O volume de água recolhida é também dependente da área de drenagem. Obviamente, a uma maior área de captação corresponderá um maior volume de água recolhida. De uma maneira geral, as águas pluviais são recolhidas na cobertura dos edifícios e terraços, visto que estes representam a maior área impermeabilizada que permite a recolha de água com um mínimo de contaminação. A qualidade da água recolhida dependerá, entre outros factores, do material de construção da cobertura e quantidade de resíduos (folhas secas, ou excrementos de aves, por exemplo) nela depositados.

- Coeficiente de Escoamento (C) - Nem toda a água precipitada é passível de ser aproveitada, devido a perdas no processo de recolha como a absorção, evaporação ou arrastamento pelo vento, dependendo logicamente do material da cobertura e sua rugosidade característica. Este coeficiente entre o escoamento superficial gerado e o volume de água precipitada num determinado período de tempo denomina-se coeficiente de escoamento. A Tabela 7 sumariza os valores recomendados pela ANQIP para este parâmetro.

**Tabela 7- Coeficiente de escoamento por tipo de coberto**

Tipo de Cobertura	Coeficiente de Escoamento
Coberturas impermeáveis (telha, cimento, asfalto, etc.)	0,8
Cobertura plana com gravilha	0,6
Telhado Verde (extensivo, de baixa porosidade)	0,5
Telhado Verde (intensivo, de grande porosidade)	0,3

- Coeficiente de Eficiência de Filtração ( $\eta_f$ ) – Considerando um filtro de manutenção e limpeza regulares, e ainda condições de operação favoráveis, a sua eficiência de filtragem pode ser da ordem dos 90% ( $\eta_f=0,9$ ) (ANQIP, 2013), excepto se alguma particularidade do sistema puder condicionar esta eficiência, como a presença exagerada de resíduos sólidos. Na concepção do SAAP, usa-se esta eficiência para efeitos de cálculo.

### III. Módulo de selecção do tipo de sistema de SAAP

A ferramenta *RaINvesT* permite ao utilizador a selecção do tipo de SAAP que mais se adequa ao edifício em estudo. Para estudos de caso em que a redução da energia relacionada com o abastecimento de água constitua um objectivo, é recomendada a adopção de um sistema indirecto, nos quais a água pluvial é armazenada num reservatório subterrâneo, geralmente de maiores dimensões, sendo posteriormente bombada para reservatórios menores, elevados, e podendo daí fluir graviticamente até aos seus usos finais.

Por outro lado, os sistemas directos são mais adequados quando existam restrições a nível de espaço no edifício para acomodar o SAAP, uma vez que dispensam a instalação de reservatórios superiores, e permitem ainda assegurar as pressões mínimas necessárias ao bom funcionamento de determinados dispositivos (Rodrigues, 2010).

#### IV. Módulo de concepção do SAAP

##### *Dimensionamento do reservatório subterrâneo*

O tamanho óptimo do tanque de armazenamento a instalar num determinado edifício é um compromisso entre a maximização do uso de águas pluviais, a fiabilidade com que estas suprimem o consumo ao longo do ano, o investimento necessário e o espaço disponível para a sua instalação (Khastagir & Jayasuriya, 2010). Deve assim procurar obter-se uma relação entre capacidades crescentes do reservatório e o volume de água efectivamente utilizado.

Na *RaINvesT*, na determinação do volume adequado para o reservatório subterrâneo, relaciona-se a capacidade do reservatório e o volume de água utilizado. Para tal, arbitram-se os volumes possíveis para o reservatório e contabiliza-se o volume de águas pluviais efectivamente gastos para suprir as necessidades hídricas estabelecidas. Dos métodos encontrados para determinação do volume adequado dos reservatórios de um SAAP, este método aproxima-se do método da simulação, na medida em que é feito um balanço hídrico ao reservatório para cada dia, considerando o volume de água restante do dia anterior e também os volumes de água gastos diariamente.

É ainda testada a eficiência do sistema para estas diferentes capacidades de armazenamento, determinando-se para o efeito a percentagem de dias em que o suprimento das necessidades se revelou independente, parcialmente dependente, ou totalmente dependente da rede pública de abastecimento.

##### *Reservatórios elevados e bombagem*

No caso de selecção de um sistema indirecto, a *RaINvesT* inclui a concepção dos reservatórios secundários, geralmente instalados na cobertura ou no sótão dos edifícios. Na determinação da sua localização, importa a sua proximidade aos usos finais da água recolhida, como sejam as instalações sanitárias, para a descarga de autoclismos, por exemplo, ou o ramal de saída nas zonas de lavagem de veículos.

A dimensão destes reservatórios deverá ser a adequada de forma a minimizarem-se as bombagens necessárias, mas devendo também ter-se em conta a sobrecarga que estes podem constituir para a estrutura dos edifícios, tendo em conta que a instalação do SAAP não estaria, à partida, prevista aquando do seu projecto. Por último, a dimensão dos tanques elevados deve também permitir alguma autonomia ao sistema, tendo em vista o tipo e número de utilizações por período de tempo considerado.

De modo análogo, no que respeita à frequência de bombagens, deve procurar reduzir-se ao mínimo o seu número com vista à redução da intensidade energética do SAAP, assegurando-se, no entanto, de que existe nos tanques elevados água em volume suficiente para as diversas utilizações, no período de tempo considerado entre bombagens.



### *Rede de abastecimento de águas pluviais*

Uma componente importante da concepção de um SAAP é a instalação ao nível do edifício da rede de distribuição das águas pluviais recolhidas e tratadas. A ferramenta *RaINvesT* permite o cálculo do comprimento mínimo destas tubagens, que ligam o reservatório subterrâneo aos tanques superiores, e estes aos dispositivos de uso final das águas aproveitadas. O dimensionamento das tubagens desta rede não potável pode ser feito de modo análogo ao dimensionamento da rede potável e para idênticos níveis de conforto. No entanto, as redes de água não potável, incluindo todos os elementos acessórios, devem ser claramente identificadas e diferenciadas das redes de água potável, sendo geralmente identificadas com a cor púrpura.

Por não se considerar relevante para esta dissertação, não se incorporou na *RaINvesT* uma escolha detalhada dos equipamentos e acessórios da rede de distribuição das águas pluviais recolhidas, tais como os sistemas de *first-flush*, os filtros de queda, entre outros.

## **V. Módulo de análise da energia incorporada**

Uma das principais funcionalidades da ferramenta *RaINvesT*, é o cálculo da energia incorporada por metro cúbico de água recolhida e utilizada no SAAP, e sua posterior comparação com a energia incorporada da rede pública de abastecimento. Esta análise da energia incorporada assume especial relevância numa época em que os consumos energéticos associados à produção de água potável constituem um dos assuntos da ordem do dia do sector, e uma das maiores preocupações para as entidades prestadoras desses serviços.

Para o cálculo da energia incorporada no SAAP, a ferramenta *RaINvesT* usa os resultados obtidos para os requisitos de bombagem no Módulo de Concepção do SAAP (IV), e também o volume de águas pluviais potencialmente utilizadas, calculado no mesmo módulo. O indicador obtido, expresso em kWh/m<sup>3</sup>, pode ser posteriormente comparado com o mesmo quociente determinado para a rede pública de abastecimento de água. Para a determinação deste último, a ferramenta *RaINvesT* considera a energia directamente consumida nas fases de captação, tratamento, transporte e distribuição de água, excluindo-se a energia indirecta associada ao sistema.

## **VI. Módulo de análise de custo-benefício**

Por último, a *RaINvesT* inclui também um módulo de análise de custo-benefício, que tem como objectivo último averiguar a viabilidade económica do SAAP. O objectivo de uma análise deste género é o de reunir todas as componentes de um projecto que podem ser quantificadas, agrupá-las em duas classes e verificar qual dos grupos tem maior peso. Esta análise será tanto

mais rigorosa quanto maior a relevância das componentes que nela estão incluídas, embora algumas sejam de difícil mensuração.

Na *RaINvesT*, a determinação da viabilidade económica é dada pela análise do Valor Actual Líquido (VAL) calculado para o projecto. A validação de projectos por observação do seu VAL é credível visto que se baseia nos fluxos de caixa do projecto, tendo ainda em conta o valor temporal do dinheiro, actualizando apropriadamente todos os fluxos de caixa. Para um VAL positivo, recomenda-se geralmente que o projecto seja aprovado, e para um VAL negativo o projecto não deve ser executado (Pereira, 2013).

Para além do VAL, outro indicador considerado nesta ferramenta é a determinação da Taxa Interna de Rendibilidade (TIR). Esta taxa corresponde à taxa de actualização que torna o VAL nulo e constitui um método popular de análise financeira uma vez que permite averiguar os métodos financeiros de um projecto a partir de um só número. Uma vez que esta taxa depende apenas das características do projecto, é considerada uma taxa interna. Quando a taxa de actualização é superior à TIR, o VAL é negativo e o projecto deve ser rejeitado. Por outro lado, quando a taxa de actualização é inferior à TIR, o projecto deve ser aceite pois o VAL é positivo (Pereira, 2013).

A simples diferença entre fluxos positivos e fluxos negativos pode assim ser estimada (EBITDA – *Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization*). No entanto, a EBITDA deve ainda ser afectada pela depreciação dos materiais constituintes do SAAP e devem ser consultadas as respectivas taxas de amortização, dependentes da sua natureza.

Aos resultados brutos, correspondentes à EBITDA descontada da depreciação ao longo dos anos, descontam-se ainda os encargos fiscais aplicáveis, obtendo-se os resultados líquidos para cada ano do projecto. Por fim, calcula-se o *Cashflow* (fluxo de caixa) para cada ano num horizonte de 10 anos desde o investimento. Este *Cashflow* tem em conta o valor do investimento inicial, a depreciação dos materiais e os resultados líquidos supracitados. Os valores anuais deste *Cashflow* devem finalmente ser actualizados para o valor actual do dinheiro, considerando-se uma taxa de actualização adequada à natureza do projecto, e seu risco tecnológico associado.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A ferramenta RaiNvesT foi aplicada ao estudo de caso do edifício universitário que constitui o *Campus* do IST no *Taguspark*, de modo a avaliar-se a viabilidade e características da instalação de um SAAP no mesmo.

Os principais resultados obtidos para cada módulo da ferramenta podem ser consultados na Figura 21, sendo que os resultados de cada módulo serão explicados em maior detalhe neste capítulo.

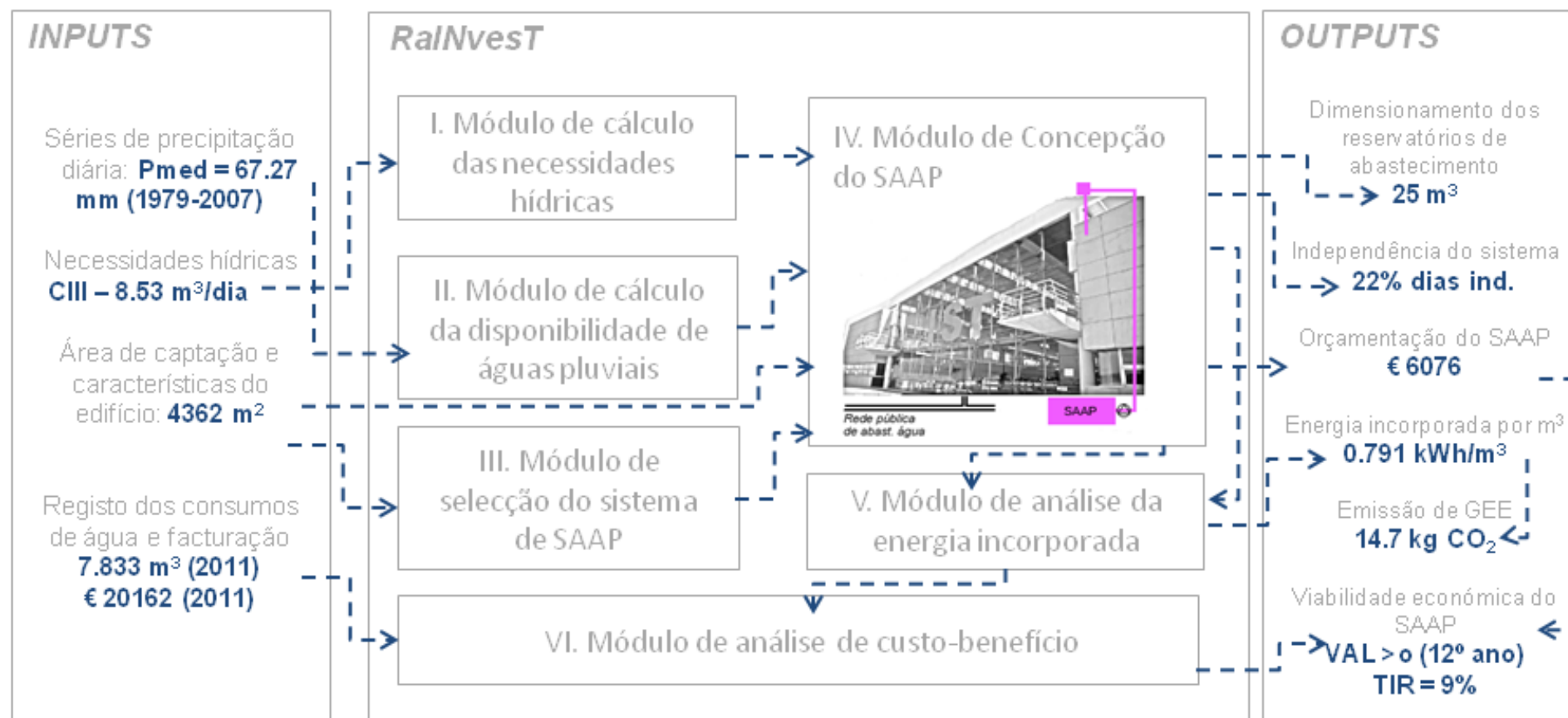


Figura 21 - Principais resultados obtidos com o RainVest para o caso de estudo

## I. Módulo de cálculo das necessidades hídricas

Para o estudo do edifício universitário do IST no *Taguspark*, recorrendo-se à ferramenta *RaINvesT*, três usos de necessidades hídricas foram considerados:

- Uso I – Descarga de autoclismos;
- Uso II – Rega de espaços verdes interiores;
- Uso III – Descarga de autoclismos e rega de espaços verdes interiores

Nos parágrafos seguintes, apresentam-se estes três usos em maior detalhe.

- No que respeita ao primeiro uso, foi considerado o consumo unitário de água para descarga de autoclismos de 6l/pessoa.dia. Apesar de os equipamentos instalados não estarem equipados com um sistema de dupla descarga, a sua capacidade é de 6l, de acordo com o catálogo do fabricante (Geberit, 2013). Os urinóis não foram tidos em conta neste cálculo, uma vez que a sua descarga não depende de água armazenada como os autoclismos, vindo directamente da rede de abastecimento pressurizada. O número total de pessoas deste edifício escolar, somando estudantes, docentes, investigadores e equipa técnica e administrativa, é de cerca de 1900 pessoas. No entanto, a repartição técnica do edifício estima que não mais de 800 a 900 pessoas devam estar em simultâneo no edifício. Por conseguinte, uma média de 1000 pessoas foi o número usado para os cálculos relativos ao SAAP. Assim, para este uso, as necessidades hídricas totais foram estimadas através do produto do consumo unitário pelo número estimado de utilizadores, obtendo-se um consumo diário de  **$6,0 \times 10^3$  l/dia** (equivalentes a 6 m<sup>3</sup> diários).
- Relativamente ao Uso II, as necessidades totais de água foram estimadas através do produto entre a área total ajardinada e a necessidade hídrica unitária para jardins (de 3,5 l/m<sup>2</sup>.dia, de acordo com as capitações apontadas pela AQNIP, apresentadas no Anexo II desta dissertação). A determinação da área ajardinada foi possível através da observação da planta do piso térreo do edifício (Figura 22). Foram identificadas sete áreas ajardinadas no edifício do *Campus*, assim como 12 pequenos canteiros. A Tabela 8 lista as áreas de cada uma destas zonas verdes. Assim, determinou-se que as necessidades hídricas associadas a este uso perfazem **2532,64 l/dia** (2,53 m<sup>3</sup>).
- Finalmente, as necessidades de água combinadas do Uso III correspondem à soma dos dois primeiros usos, perfazendo um total de **8525,74 l/dia** (8,53 m<sup>3</sup>).



**Figura 22- Piso Térreo do IST e espaços verdes interiores**

**Tabela 8 – Espaços verdes do piso 0 e respectivas áreas (m<sup>2</sup>)**

Espaços verdes	Área (m <sup>2</sup> )
Canteiros de Árvores	1,96
Área Ajardinada 1	119,36
Área Ajardinada 2	82,21
Área Ajardinada 3	67,02
Área Ajardinada	111,22
Área Ajardinada 5	103,92
Área Ajardinada 6	89,66
Área Ajardinada 7	126,69
TOTAL	723,6

## **II. Módulo de cálculo da disponibilidade de águas pluviais**

### *Análise estatística pluviométrica*

Para este trabalho, foram recolhidos dados de precipitação mensal, diária e máxima diária do SNIRH (Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos) (SNIRH, 2013). Apesar de, para o dimensionamento do Sistema de Aproveitamento de Águas pluviais, serem apenas requeridas séries de precipitação diária, para um melhor conhecimento dos padrões de precipitação na região é recomendável também a observação de valores mensais. A estação

de medição mais próxima do *Taguspark* foi identificada como a estação do Cacém (21B/10G), uma estação udográfica localizada a 173 m acima do nível médio do mar. Esta estação tem registos da precipitação diária desde 1979 a 2007, correspondentes a 28 anos hidrológicos completos.

É aceite que as interpretações gráficas de séries de precipitação têm grandes flutuações, sendo por isso difíceis de interpretar e de detectar tendências ou padrões. Porém, uma análise exploratória destas séries para determinação de alguns parâmetros estatísticos pode ser preciosa na compreensão dos fenómenos de precipitação. A tabela seguinte compila os principais parâmetros estatísticos obtidos para as séries de precipitação mensal na estação do Cacém:

**Tabela 9 - Parâmetros estatísticos para as séries de precipitação mensal no Cacém**

Parâmetro Estatístico	Valor
Média (mm)	67,27
Desvio Padrão (mm)	75,38
Coeficiente de assimetria	2,14

Como seria expectável, o desvio padrão obtido é significativo, devido à aleatoriedade dos registos de precipitação, sendo até superior à média. O coeficiente de assimetria positivo representa um desvio da função de distribuição aplicável a estes dados para o lado direito, no sentido dos registos mais elevados.

Considerando os registos de precipitação diária para o mesmo período (anos hidrológicos completos de 1979/80 a 2006/07), foram obtidos os seguintes parâmetros estatísticos:

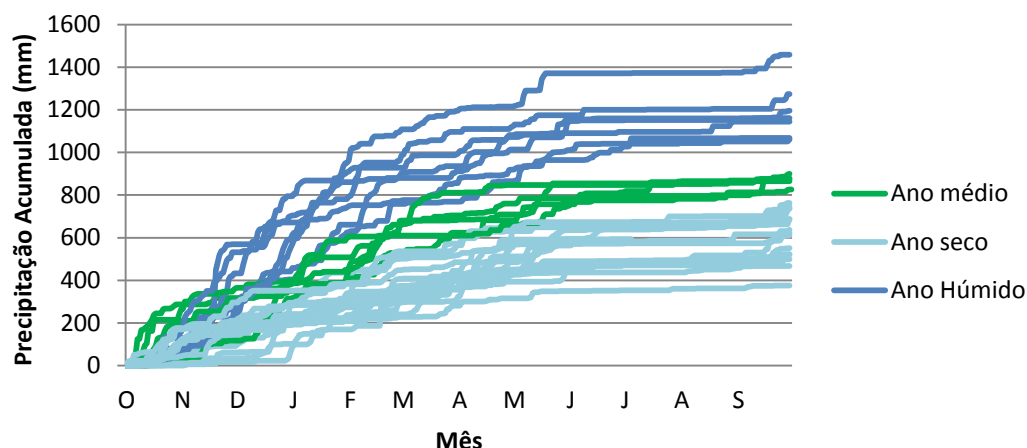
**Tabela 10 - Parâmetros estatísticos para as séries de precipitação diária no Cacém**

Parâmetro Estatístico	Valor
Média	2,19
Desvio Padrão	6,45

Tal como para os registos mensais já analisados, o desvio padrão obtido é superior à média das séries, indicando uma assimetria direccionada aos valores de maior precipitação.

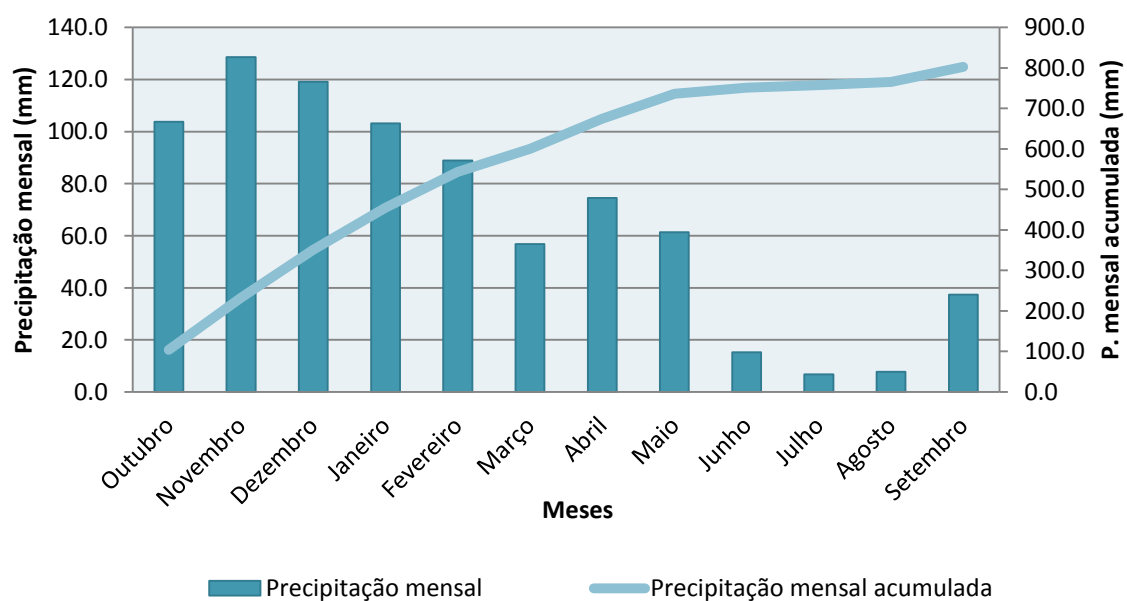
#### *Disponibilidade de águas pluviais*

Uma análise detalhada das séries de precipitação diária acumulada, permitiu distinguir-se os anos secos e os anos húmidos desta região (Figura 23).



**Figura 23 - Anos secos e anos húmidos para o período considerado**

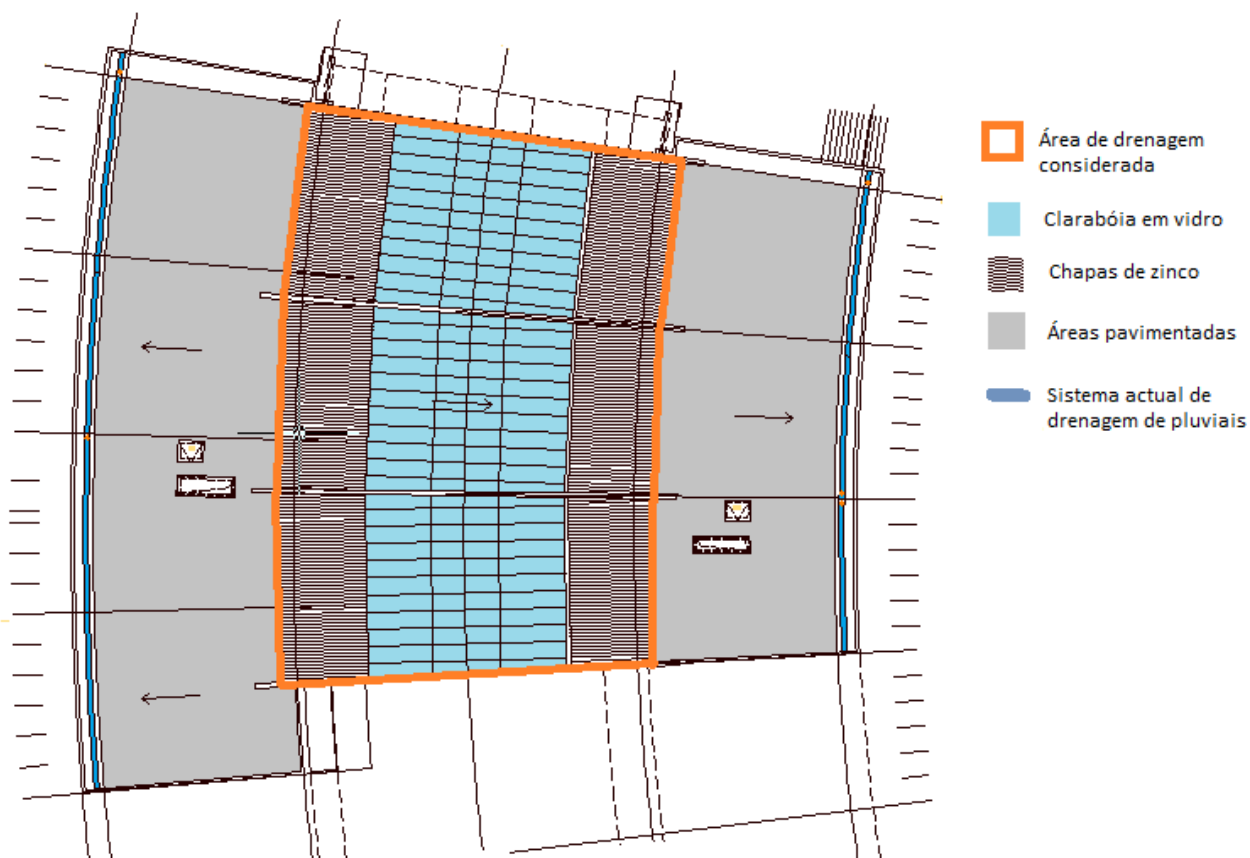
Como ilustrado, desde 1981 até 2007 foi registado, para a estação do Cacém, um número superior de anos secos (a azul claro) em relação a anos húmidos (azul escuro). Como anos húmidos consideraram-se aqueles em que a precipitação anual acumulada foi superior a 1000 mm, e como anos secos aqueles com menos de 800 mm de precipitação total acumulada. Não surpreendentemente, os valores de precipitação acumulada tendem a aumentar durante os semestres húmidos (de Outubro a Fevereiro) e tendem a estabilizar nos semestres secos (de Abril a Setembro). Estas diferenças podem ser observadas mês a mês no hidrograma mensal representado na Figura 24, no qual a linha azul representa a média da precipitação acumulada.



**Figura 24 - Hidrograma mensal para a estação udométrica do Cacém**



O coeficiente de escoamento usado para este cálculo foi de 0,9, baseado na ETA0701 da ANQIP (ANQIP, 2013) dado que o vidro e restantes materiais que constituem a área drenante têm uma porosidade inferior à do cimento, telha ou asfalto. Um detalhe da cobertura do edifício do IST e sua segmentação, bem como da área de drenagem considerada estão representados na Figura 25.



**Figura 25 – Divisão da cobertura do edifício, sistema actual de drenagem de águas pluviais e área de drenagem considerada**

Tal como se pode observar na Figura 25, a cobertura do IST encontra-se separada em duas áreas pavimentadas, que cobrem o edifício nas frentes Norte e Sul do Edifício, e tem ainda uma área de clarabóia no centro do edifício, que cobre o pátio e jardins interiores. Esta clarabóia tem uma inclinação na direcção da zona pavimentada a Norte do edifício, pelo que o escoamento da clarabóia é conduzido para as grelhas de drenagem desta área., juntamente com o escoamento (embora reduzido) desta área pavimentada. Por sua vez, na área pavimentada da face Sul do edifício, apenas a água directamente precipitada nesta superfície é recolhida. Ambas as zonas pavimentadas se encontram cobertas por uma matriz contínua de mosaicos com espaçamentos significativos entre si, propícios à acumulação de resíduos ou mesmo ao desenvolvimento de alguma vegetação.



**Figura 26 - Fotografia da cobertura do edifício em estudo**

Optou-se por se excluir deste cálculo o escoamento associado às áreas pavimentadas devido ao seu baixo coeficiente de escoamento, Seleccionando-se apenas a clarabóia como área drenante, uma vez que o seu escoamento tem menor índice de contaminação, perfazendo assim uma área total de captação de 4362 m<sup>2</sup>.

Pela instalação de um sistema de recolha de águas pluviais na cobertura, diminuir-se-ia também o escoamento afluente aos drenos da cobertura Norte, que se pensa estar subdimensionada, de acordo com os testemunhos da equipa técnica de apoio ao edifício - em dias de precipitação mais intensa verifica-se com frequência acumulação de água no piso térreo, de acordo com a equipa técnica do apoio ao edifício. O facto de se potenciar uma solução para este problema pode constituir uma vantagem adicional da instalação deste SAAP.

### **III. Módulo de selecção do tipo de sistema**

A alternativa por um sistema directo, armazenado a água directamente a esta cota da cobertura, dispensaria quaisquer requisitos de bombagem. No entanto, uma vez que a instalação deste SAAP não foi incluída na fase de dimensionamento do edifício, considerou-se que seria arriscado comprometer-se a segurança da estrutura do edifício, sujeitando-o a um peso significativo e não previsto. Considerando o peso específico da água de 1000 kg/m<sup>3</sup>, este peso adicional traduzir-se-ia, em, aproximadamente, 25 t.

Assim, a opção por um sistema indirecto, em parte beneficiando da gravidade, é o que mais se adequa aos objectivos deste trabalho, que visa uma alternativa de abastecimento de água com menores dependências energéticas. Ainda, como nenhum dos usos previstos para as águas pluviais (carregamento de autoclismos ou rega de espaços verdes) tem requisitos de pressão,

como teriam por exemplo a descarga de urinóis ou determinados electrodomésticos, o uso de tanques superiores é adequado. O facto de as águas pluviais recolhidas serem primeiramente armazenadas no reservatório de combate a incêndio, conferiria ainda uma segurança adicional de que estaria disponível uma maior quantidade de água na ocorrência de uma emergência, dado que este seria primeiramente recarregado.

No sistema idealizado, as águas pluviais recolhidas na cobertura do edifício seriam encaminhadas para os reservatórios de combate a incêndio (ver Figura 12), localizados no piso subterrâneo, constituindo estes últimos os principais tanques de armazenamento das águas pluviais. Seria também nestes tanques subterrâneos que se colocariam os dispositivos necessários ao tratamento destas águas afluentes, nomeadamente os filtros. Caso o reservatório atinja a sua plena capacidade de armazenamento na ocorrência de um episódio de precipitação, este deverá estar equipado com acessórios de *overflow*, para garantir que a água não transborde e escorra para as fundações do tanque ou outro local em que possa causar danos materiais. Da mesma forma, também aqui deveriam estar instalados os dispositivos de *first-flush*, de modo a rejeitarem-se, para a rede de drenagem de águas residuais, as primeiras águas pluviais recolhidas pela possibilidade da sua contaminação. Posteriormente, a água seria bombeada, pelo grupo electrobomba instalado para o efeito, até aos reservatórios elevados, instalados em diversos pontos da cobertura do edifício. Daí, a água fluiria graviticamente, através de uma nova rede de águas recicladas instalada, até aos reservatórios dos autoclismos nos três pisos do edifício, bem como até aos espaços verdes interiores para rega.

#### **IV. Módulo de concepção do SAAP**

Através da aplicação da ferramenta *RaINvesT* a este estudo de caso, foi possível dimensionar o sistema de aproveitamento de águas pluviais. Assim, determinou-se para o edifício do IST qual o volume dos reservatórios de incêndio passível de ser utilizado para fins de armazenamento de águas pluviais sem comprometer a segurança do edifício, em vez de se projectarem novos reservatórios semi-enterrados. Dimensionaram-se também os reservatórios elevados a instalar na cobertura do edifício, e determinou-se o número necessário de reservatórios e a rede de tubagens para distribuir equitativamente a água recolhida pelas dispersas instalações sanitárias dos vários pisos, bem como pelos espaços verdes interiores do edifício. Por fim, determinaram-se os requisitos de bombagem para este SAAP, bem como os consumos energéticos associados.

Foi testada a disponibilidade de água para suprir as necessidades através de um balanço hídrico, considerando o volume disponível de armazenamento de água. Um excerto da folha de cálculo da ferramenta *RaINvesT* pode ser consultado no Anexo I desta dissertação. A Figura 27 esquematiza os fluxos considerados para este balanço feito ao reservatório numa base

diária. Como fluxo de entrada neste balanço tem-se a precipitação útil, correspondente à precipitação recolhida na área de captação e descontada do *first-flush*, que se junta ao volume de água já existente no reservatório do dia anterior. Como saídas do reservatório tem-se a quantidade de água gasta em função do uso considerado (Usos I, II e III, respectivamente), e ainda o *overflow*, correspondente ao excesso de precipitação útil afluente ao reservatório, que é excluída quando este atinge a sua máxima capacidade.

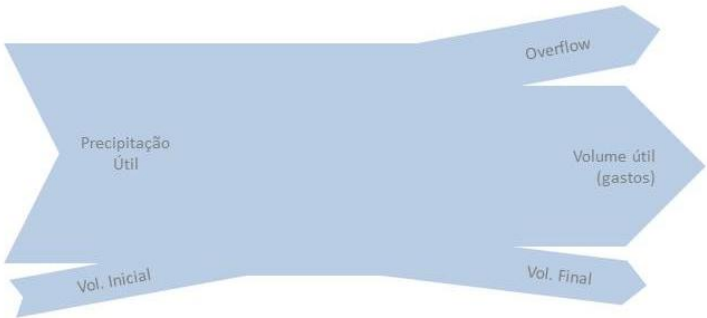


Figura 27 - Esquematisação do balanço hídrico efectuado

*Dimensionamento do reservatório subterrâneo*

Para o dimensionamento do reservatório subterrâneo, arbitraram-se valores para o volume dos reservatórios de incêndio a utilizar e contabilizou-se o volume de águas pluviais usado. Este volume corresponde ao volume médio diário gasto, apresentado na figura acima, e que constitui uma saída no balanço hídrico do reservatório, a par do *overflow*. O gráfico seguinte ilustra esta relação encontrada.

**Tabela 11 - Relação entre a capacidade do reservatório e o volume médio de água utilizado diariamente (m³) para cada uso**

Capacidade Reservatório (m³)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120
Uso I	1,33	1,62	1,84	2,02	2,17	2,31	2,42	2,52	2,61	2,78	2,93	3,06	3,17	3,27	3,43
Uso II	0,93	1,11	1,24	1,35	1,43	1,50	1,57	1,62	1,67	1,75	1,82	1,87	1,91	1,95	2,02
Uso III	1,50	1,83	2,09	2,31	2,49	2,64	2,78	2,91	3,02	3,22	3,39	3,53	3,66	3,77	3,96

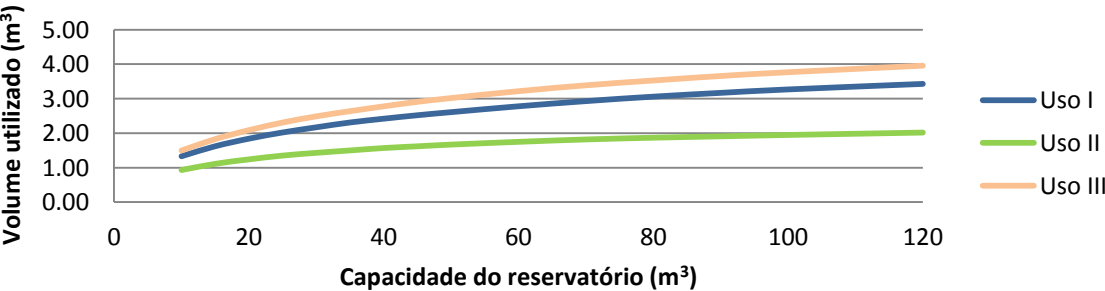


Figura 28 - Relação entre a capacidade de armazenamento e volume médio de água utilizado diariamente (m³) para cada uso

Desta análise, importa salientar que, para volumes sensivelmente acima de 40 m<sup>3</sup>, a utilização efectiva das águas recolhidas já não é significativamente maior, pelo que não compensaria a construção de reservatórios com dimensões superiores a esta.

Pôde também observar-se que este SAAP consegue assegurar, para o primeiro uso, um volume médio diário de 2,02 m<sup>3</sup>, representando **33,7% dos consumos diários previstos** para as descargas de autoclismos do edifício. Para o Uso II, devido às menores necessidades hídricas associadas, apurou-se que o SAAP assegura em média **53,4% dos 2,53 m<sup>3</sup>/dia estimados** para a rega dos espaços verdes interiores. Por último, no uso combinado de descargas de autoclismos e rega, o SAAP assegura apenas uma média de **27,1% das necessidades diárias estimadas** (2.31 m<sup>3</sup>/dia de um total necessário de 8.53 m<sup>3</sup>/dia).

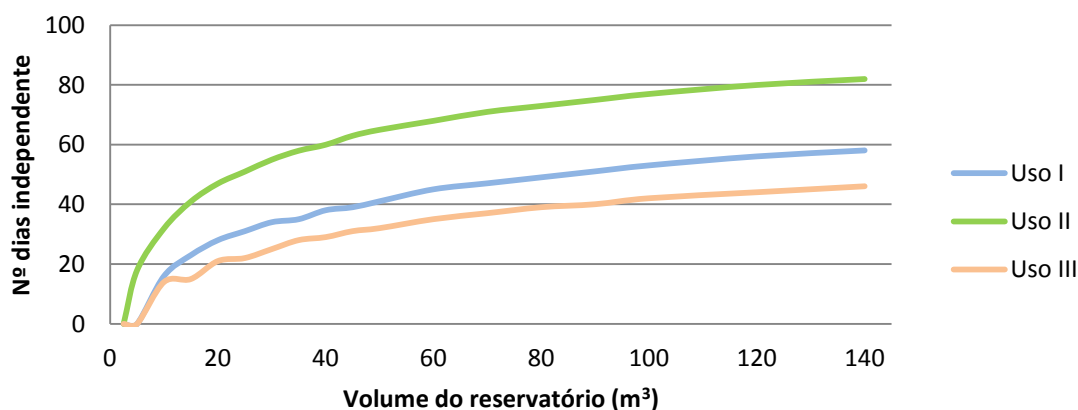
Estes resultados de fiabilidade volumétrica do SAAP, medidos sob a forma de percentagem de água potável poupada, o que equivale a dizer de águas pluviais recolhidas e utilizadas, são coerentes e da mesma ordem de grandeza dos valores encontrados na literatura (Umapathi, et al., 2013; Chong, 2011; Kahinda et al., 2010). No entanto, comparativamente ao estudo de caso que mais se assemelha ao desta dissertação, de um edifício de escritórios para o qual o SAAP assumiu eficiências na ordem dos 87% (Ward, et al., 2012), os resultados não aparentam ser tão satisfatórios. Importa assim ter com conta que o referido estudo de caso tem lugar no Reino Unido, onde a precipitação é mais constante do que em Portugal, o que se pensa ser a justificação para as diferenças encontradas.

No entanto, apesar de estes resultados evidenciarem o benefício em termos de redução de consumos de água potável que a instalação de um SAAP neste edifício poderia acarretar, tendo em conta o **volume médio afluente de águas pluviais, de 6,16 m<sup>3</sup>/dia**, verificaram-se ainda percentagens significativas deste volume não aproveitadas. De facto, considerando um armazenamento subterrâneo de 25 m<sup>3</sup>, para o primeiro uso foi obtido um *overflow* médio de 4.8 m<sup>3</sup>/dia, **correspondendo a 77,9%** do volume médio diário afluente. Para os Usos II e III; respectivamente, este *overflow* assumiu percentagens de **78,1% e 35,7%**, o que levanta a questão de que o potencial de aproveitamento de águas pluviais pode estar a ser subaproveitado, dado o volume de água recolhida que acaba por não ser utilizadas. Como se explicará adiante neste trabalho, o aproveitamento dos reservatórios de incêndio do edifício como parte do SAAP condicionou a escolha do volume armazenado. No entanto, face a estes resultados, talvez fosse oportuno considerarem-se outros usos para a água não potável que não apenas os estudados, diminuindo-se assim o desperdício de águas pluviais recolhidas.

Analogamente, testou-se o desempenho do sistema para as várias capacidades de armazenamento, avaliado pela percentagem de dias, do total de 10470 dias estudados (28 anos), em que o sistema se revelou independente, parcialmente dependente, ou totalmente independente do abastecimento da rede pública de água. A tabela e figura seguintes apresentam os resultados desta análise.

**Tabela 12 - Análise da fiabilidade temporal do sistema para as várias capacidades**

	V reservatório (m <sup>3</sup> )	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140
Uso I	% Dias Indep.	16	23	28	31	34	35	38	39	41	45	47	49	51	53	56	58
	% Dias parcial/depen.	10	8	7	7	4	6	5	5	5	4	4	4	3	4	3	3
	% Dias total/depen.	74	69	65	62	62	59	57	55	54	52	49	47	45	44	41	39
	V reservatório (m <sup>3</sup> )	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140
Uso II	% Dias Indep.	32	41	47	51	55	58	60	63	65	68	71	73	75	77	80	82
	% Dias parcial/depen.	6	5	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	% Dias total/depen.	63	55	49	46	42	40	37	35	33	30	27	25	24	22	19	17
	V reservatório (m <sup>3</sup> )	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140
Uso III	% Dias Indep.	14	15	21	22	25	28	29	31	32	35	37	39	40	42	44	46
	% Dias parcial/depen.	11	11	9	9	8	7	7	7	7	6	6	6	5	5	5	5
	% Dias total/depen.	75	74	70	70	67	65	64	62	62	59	57	56	54	53	51	49
	V reservatório (m <sup>3</sup> )	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140



**Figura 29 - Resultados da análise de fiabilidade do SAAP**

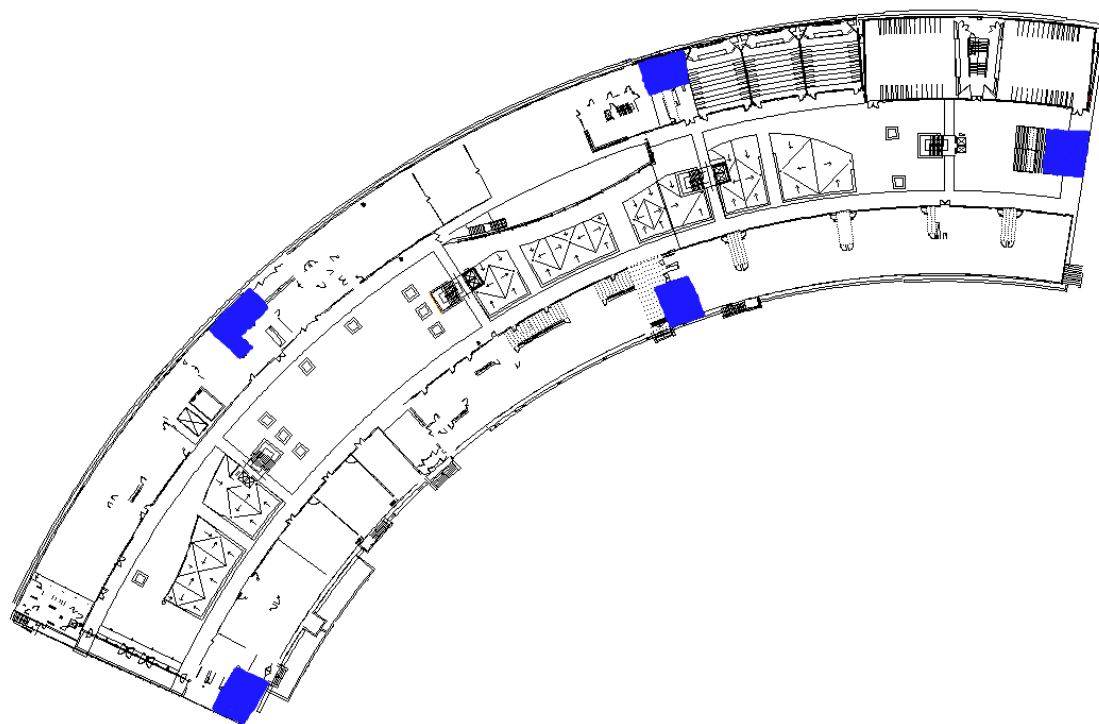
De acordo com os resultados obtidos para a relação entre a capacidade do reservatório e o volume de água usado, infere-se que um grande aumento da capacidade de armazenamento não se traduz linearmente num número maior de dias independente da rede pública, e por isso num melhor desempenho deste SAAP. De facto, de novo a partir dos 40 m<sup>3</sup>, pode considerar-se que os ganhos não são significativos relativamente ao custo que a construção de um reservatório maior pode implicar.

Dada a existência no IST de dois grandes reservatórios enterrados para usos de combate a incêndio (ver Figura 12) de 50 m<sup>3</sup> cada, optou-se por se recorrer a um volume parcial dessa reserva, correspondente a 25% do volume total, na conceptualização deste SAAP. Assumindo que o volume armazenado de 75 m<sup>3</sup> para combate a incêndio é o suficiente sem que se

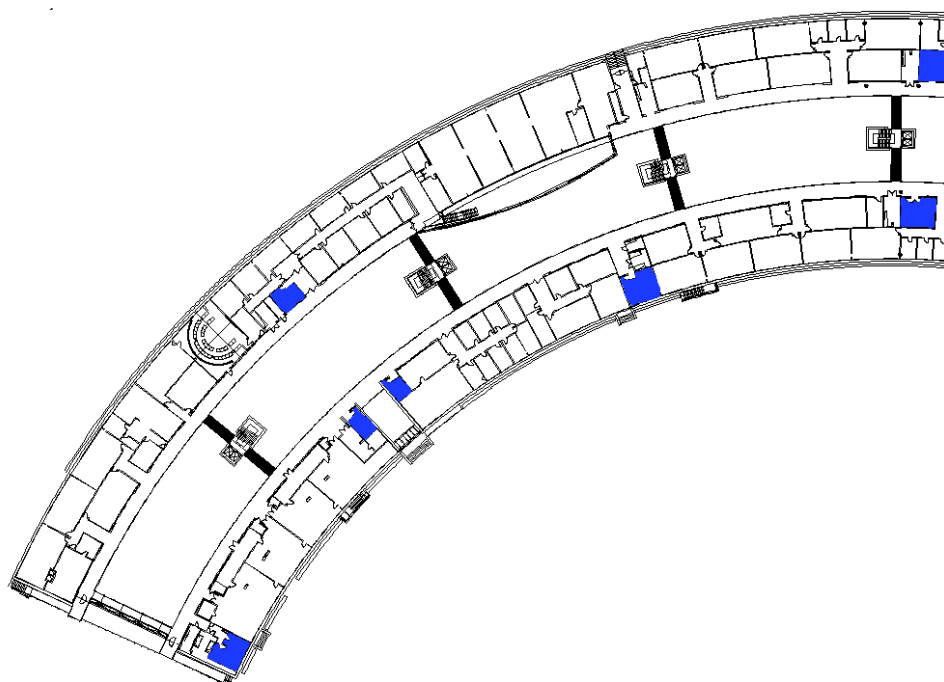
comprometa a segurança do edifício, o armazenamento e reutilização de águas pluviais dispõe assim de **25 m<sup>3</sup> sobranter**, sem nunca comprometer a segurança do edifício (MARN, 1991). A este volume corresponde um volume semanal usado de 15,4 m<sup>3</sup> para o Uso I, e a fiabilidade do sistema varia entre 22 e 51% de dias independentes da rede, para o Uso III e Uso II, respectivamente.

#### *Reservatórios elevados e bombagem*

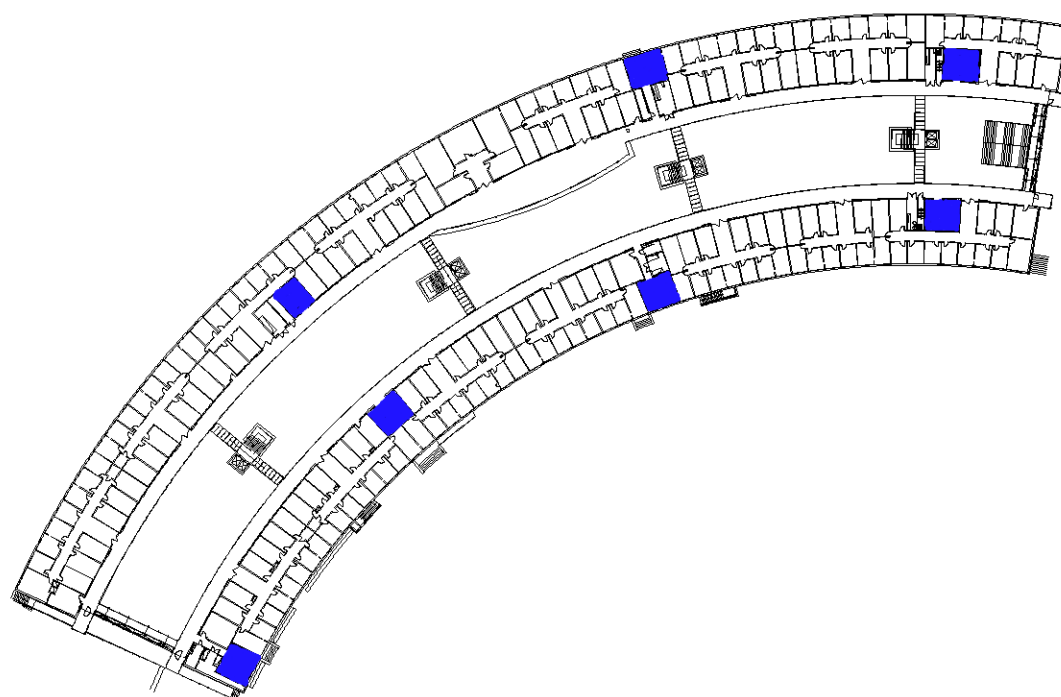
As figuras seguintes ilustram a distribuição das instalações sanitárias nos três pisos do edifício. Não se averiguou da existência de sanitários no piso subterrâneo, uma vez que este é constituído na sua maioria por lugares de estacionamento, e não é acessível à maior parte dos utentes do edifício.



**Figura 30 - Localização dos sanitários no Piso 0**



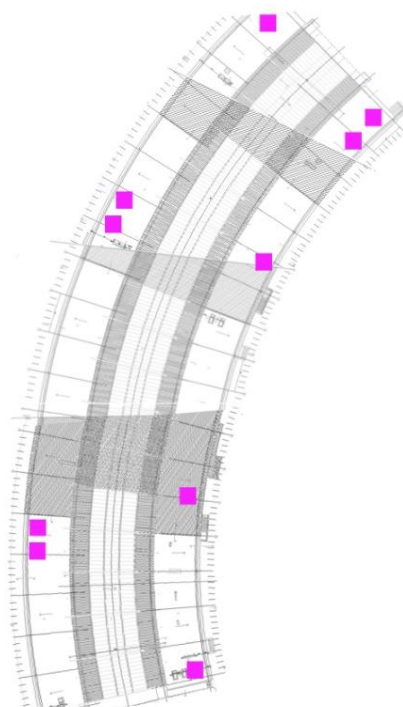
**Figura 31 - Localização dos sanitários no Piso 1**



**Figura 32 - Localização dos sanitários no Piso 2**

A localização dos sanitários nos três pisos não é exactamente coincidente, embora aproximada na maior parte dos casos. Assim, foi considerada a instalação de 10 reservatórios elevados na cobertura do edifício, sensivelmente alinhados com cada bloco de sanitários. Deste modo, assegura-se a proximidade entre os tanques elevados e os locais de utilização final das águas pluviais recolhidas, minimizando a extensão da rede de água não potável a instalar. A figura seguinte ilustra a localização potencial para estes reservatórios elevados.





**Figura 33 – Localização potencial dos reservatórios elevados**

No que respeita ao material escolhido, considerou-se a melhor opção o polietileno, por ser mais leve que os restantes materiais, não afectando a estrutura do edifício devido a pesos adicionais na sua cobertura.

Para dimensionamento destes 10 reservatórios elevados, considerou-se o uso de maior exigência hídrica, ou seja, o Uso III, com consumos de  $8,53 \text{ m}^3/\text{dia}$  para o abastecimento dos autoclismos e rega diária dos espaços verdes. Este consumo corresponde a um volume aproximado de  $850 \text{ l/dia}$  por cada um dos reservatórios elevados. A Tabela 13 exemplifica o balanço feito entre o volume dos reservatórios elevados e o número de bombagens necessárias por dia para satisfazer as necessidades de água.

**Tabela 13 - Dimensionamento dos reservatórios elevados**

Volume do reservatório (l)	Nº de bombagens / dia	Nº descargas / período de bombagem
1000	1	167
500	2	83
300	4	50
200	4	33
150	6	25
120	7	20

Como referido anteriormente, a instalação de reservatórios com 1000 l de capacidade na cobertura do edifício poderia comprometer a segurança da sua estrutura, considerando que a cobertura não estará preparada para receber cerca de 10 t de peso adicionais. Analogamente, consideraram-se os reservatórios de 300l ainda demasiado pesados (2 e 3 t aproximadamente). Por outro lado, reservatórios de menores dimensões (120 ou 150l) exigem uma maior frequência de bombagem para se dar resposta aos consumos estimados, o que também será de evitar, uma vez que se quer reduzir dentro do possível este gasto energético.

Importa referir que o número de bombagens é estimado tendo em conta o horário de ocupação do edifício, essencialmente entre as 8h e as 17h, sendo apenas considerados os dias úteis da semana, dado que o edifício, pela natureza das suas actividades, tem muito pouca afluência aos fins-de-semana. Considerando, por exemplo, 4 bombagens diárias, estas ocorreriam às 8h, 10h, 12h e 14h, o que se pensa cobrir o período de maior actividade do edifício. Caso a tarifa bi-horária fosse aplicável, poderia substituir-se a primeira bombagem por uma bombagem nocturna. Deve ainda acrescentar-se que a primeira bombagem pode ser maioritariamente usada para fins de rega, dado que é recomendável que se regue fora das horas de maior intensidade luminosa, e que esse período é anterior ao pico de actividade escolar, que se considerou ocorrer pelo meio da manhã, entre as 10h e as 11h. Também no horário de almoço se espera uma maior afluência às instalações sanitárias, que tenderá a diminuir com o avançar da tarde.

Assim, determinou-se que a solução mais equilibrada seria a da instalação **de reservatórios de 200 l**, com um peso aproximado de 200 kg (perfazendo um total de apenas 2 t de peso adicional em toda a cobertura). Para estes tanques, com **4 bombagens por dia** no horário de maior utilização, o número de descargas dos autoclismos asseguradas entre cada bombagem é de 33, ou seja, cerca de 17 descargas por hora para cada grupo de sanitários.

No âmbito desta dissertação, o maior interesse relativo a esta bombagem relaciona-se com o cálculo da energia consumida, para posteriormente se determinar a energia incorporada específica deste sistema.

Seleccionou-se a bomba MQ da *Grundfos* (Figura 34), uma bomba compacta desenhada para soluções domésticas, agrícolas ou hortícolas, sendo também adequada a aplicações residenciais, inclusive de bombagem de águas pluviais (Grundfos, 2013). Este equipamento assegura um caudal de 4,1 m<sup>3</sup>/hora e uma pressão máxima de 7,5 bar.

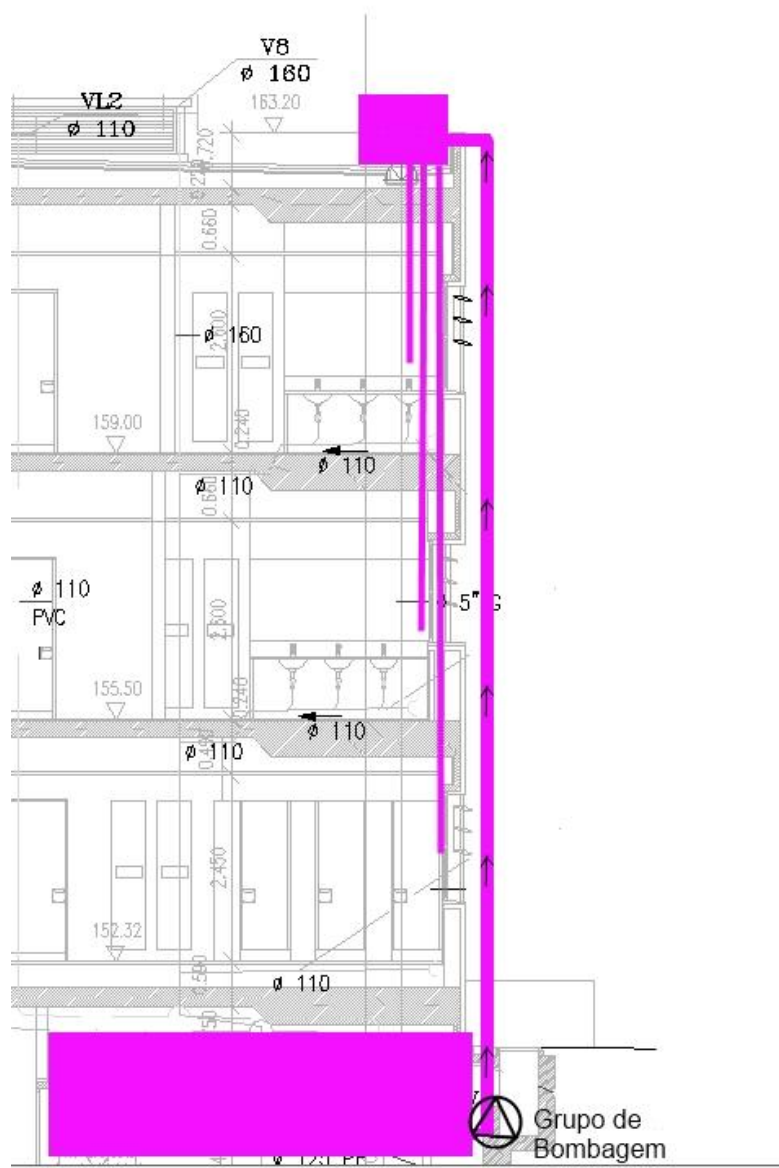


Figura 34 - Bomba MQ da Grundfos (Grundfos, 2013)

Assumindo que cada bombagem (das 4 bombagens diárias) corresponde a uma elevação máxima de 200 l, dada a dimensão dos reservatórios elevados, tem-se um período de bombagem de aproximadamente 180 seg (3 minutos, ou 12 minutos por dia considerando 4 bombagens diárias), obtendo-se para este sistema, uma energia diária consumida de **0,11 kWh**.

#### *Rede de abastecimento de águas pluviais*

A Figura 35 esquematiza uma das potenciais soluções de instalação da rede de águas pluviais, em corte, no edifício em estudo.



**Figura 35 - Esquematização do sistema SAAP para o edifício em estudo**

A cota da cobertura do edifício é de 163,20 m, enquanto que o segundo, primeiro e piso térreo se encontram a 159 m, 155,50 m e 152,32 m, respectivamente.

Assim, para um cálculo aproximado do comprimento da rede de abastecimento necessária, considerando uma altura de 1m para os reservatórios elevados, ter-se-á uma cota máxima de elevação de 164,20m. Por outro lado, considerando que os reservatórios de incêndio se encontram no piso subterrâneo, onde se situa também a caleira de recolha das águas pluviais, a uma cota de 150,70m, se se subtraírem 2 m de altura destes reservatórios, obtém-se a cota mínima de 148,70m. Assim, obteve-se a altura total de elevação necessária de **15,50m**.

Este valor corresponde grosseiramente ao comprimento da tubagem que parte do grupo de bombagem instalado no piso subterrâneo e alimenta os reservatórios elevados. Para efeitos de cálculo, e de modo a deixar-se uma margem de segurança, considerou-se para esta tubagem um comprimento de **17 m**. Adicionalmente deve ser considerada a rede de alimentação dos reservatórios elevados, ilustrada na Figura 36. Para esta rede, foi estimado um comprimento aproximado de **210 m**, considerando para todo este sistema tubagens de PVC.



**Figura 36 - Esquematização da potencial rede de alimentação dos reservatórios elevados na cobertura do edifício**

No que respeita à recolha das águas pluviais da cobertura e seu transporte até ao reservatório subterrâneo, não foi considerada a implementação de nova tubagem, recorrendo-se à tubagem

de drenagem de águas pluviais já existente no edifício, cuja caleira de descarga é muito próxima dos reservatórios enterrados. Este facto constitui uma grande vantagem da instalação de um SAAP neste edifício, considerando que é dispensável a instalação de uma rede de drenagem de águas pluviais e sua ligação aos reservatórios, o que certamente se traduz numa redução significativa dos custos iniciais de instalação do sistema, como se verá no orçamento.

Finalmente, é necessário ainda considerar-se a tubagem de adução gravítica dos reservatórios elevados aos locais de uso final da água, autoclismos e espaços verdes:

- considerando que os tanques de descarga das instalações sanitárias se encontram aproximadamente a 1m da cota do respectivo piso, a entrada para alimentação dos reservatórios do piso 2 estarão a uma cota de 160 m. Relembrando que a cota da cobertura, correspondente à da saída das tubagens dos tanques elevados é de 163,20m, tem-se uma necessidade de tubagem de 3,20 m para alimentação dos autoclismos deste piso. Multiplicando pelas 7 instalações sanitárias existentes no piso 2, tem-se uma necessidade de 22,4 m de tubagem;
- repetindo-se os cálculos do ponto anterior, obtém-se uma necessidade de tubagem de 46,9 m (6,7 m para 7 instalações sanitárias) e 49,4 m (9,88 m para 5 instalações sanitárias), para os pisos 1 e 0, respectivamente;
- no que respeita ao abastecimento gravítico dos autoclismos, perfaz-se assim um total de **118,7 m** de tubagem;
- finalmente, para os pontos de rega dos espaços verdes interiores, considerou-se apenas a instalação de duas saídas de águas pluviais, com necessidades de tubagem semelhantes às dos autoclismos do piso térreo (9,88 m), contabilizando um subtotal de **17,96 m**. O total de tubagem para a adução gravítica dos usos finais de água não potável deste SAAP é de **136,66 m**.

Assim, para efeitos de dimensionamento da tubagem necessária para a instalação do SAAP neste edifício escolar, considerou-se um total de **346,46 m** (136,66 m + 210 m).

De acordo com o que foi listado na metodologia, o SAAP a instalar no *Campus* do IST no *Taguspark* deve ser equipado com diversos acessórios para além das tubagens e grupos de bombagem. No entanto, por não se considerar relevante para esta dissertação, não se desenvolveu uma escolha detalhada destes equipamentos.

## **V. Módulo de análise da energia incorporada**

Neste módulo, começou por determinar-se a energia incorporada no sistema de abastecimento actual, e posteriormente se calculou para o SAAP:

- Com o objectivo de se avaliar a quantidade de energia associada às diferentes fases de captação de água, tratamento e sua distribuição no município de Oeiras, procuraram-se os consumos energéticos directos da EPAL relativos à captação, tratamento e distribuição de água (presentes no relatório de sustentabilidade da empresa), e também a energia associada à distribuição em baixa pelos SMAS de Oeiras e Amadora. Para tal, consideraram-se os volumes de água abastecidos e os consumos energéticos das principais estações elevatórias, bem como das Estações de Tratamento de Água consideradas. O indicador de energia incorporada, expresso em kWh/m<sup>3</sup>, foi então calculado pelo quociente entre a energia total anual consumida em todo o percurso de adução da água até ao Taguspark, pelo volume total anual de água consumida na região do *Taguspark*, para o mesmo ano (2011).
- Por forma a poder desenvolver-se uma análise comparativa entre o sistema tradicional de abastecimento de água e o SAAP do ponto de vista energético, determinou-se também a energia incorporada por metro cúbico de águas pluviais aproveitadas. Para o efeito, determinou-se a energia incorporada em kWh/m<sup>3</sup> deste sistema através dos requisitos energéticos de bombagem, da altura de elevação necessária, e do volume de água correspondente a essa elevação.

Em paralelo com a avaliação de energia incorporada, foi realizada, no âmbito deste trabalho, uma análise simplificada das emissões de GEE associadas aos sistemas de abastecimento de água, como consequência das suas necessidades energéticas. Por forma a poderem comparar-se as duas soluções (rede pública e SAAP) em termos de emissão de gases de efeito de estufa, determinaram-se as emissões associadas ao SAAP, tendo por base apenas os respectivos requisitos de bombagem.

#### *Energia incorporada no sistema de abastecimento actual*

Avaliaram-se os consumos energéticos directos da EPAL relativos à captação, tratamento e distribuição de água:

- Relativamente a 2011, a energia despendida na captação de água, tratamento e transporte em alta pela EPAL atingiu um total de 140 853 002 kWh;
- Comparativamente aos dois anos anteriores, a EPAL experienciou um decréscimo nas suas necessidades energéticas, justificado pela redução dos volumes de água produzidos e bombeados, a par de alterações no seu modelo de gestão;
- Dados de 2009 revelaram que a EPAL operava um conjunto de 9 estações elevatórias e estações de tratamento de água que seriam os consumidores mais intensivos de energia eléctrica, responsáveis por 88,1% dos consumos totais da empresa.

A água que abastece Oeiras tem a sua captação a cargo da EPAL na Albufeira de Castelo de Bode e também Valada do Tejo, entre outras captações subterrâneas de mais reduzida dimensão. Para estas captações, determinaram-se, com base no relatório de sustentabilidade da empresa, valores de energia incorporada de 0,067, 0,146 e 0,135 kWh/m<sup>3</sup>, respectivamente. A água captada em Castelo de Bode é posteriormente tratada na ETA da Asseiceira (energia incorporada de 0,049 kWh/m<sup>3</sup>), enquanto a água captada na Valada do Tejo é conduzida até à ETA de Vale da Pedra (energia incorporada de 0,106 kWh/m<sup>3</sup>). Por último, a água captada de reservas subterrâneas é apenas sujeita a uma desinfecção (energia incorporada de 0,053 kWh/m<sup>3</sup>).

Contudo, deve referir-se que os dados apresentados provêm da informação declarada pelas entidades gestoras à Entidade Reguladora de Serviços de Água e Saneamento (ERSAR), tendo sido, no âmbito desta dissertação, ponderados de acordo com a população servida em cada município (ERSAR, 2013), obtendo-se assim a percentagem de água abastecida a Oeiras proveniente de cada estação. Deve ainda ter-se em conta que a energia incorporada nos reagentes químicos envolvidos no tratamento de água não foi calculada, pelo que os resultados estão ligeiramente subestimados.

Uma vez que não foram encontrados dados reais para os consumos energéticos dos postos de captação de água subterrânea e estações de cloragem, estes valores tiveram que ser estimados. De acordo com Mo (Mo, et al., 2011), os sistemas de abastecimento de águas superficiais e subterrâneas são semelhantes em termos de energia total incorporada. No entanto, o mesmo autor afirma que apesar de a energia gasta localmente ser cerca de 27% superior nas captações de águas subterrâneas, no que respeita à fase de tratamento de água as águas subterrâneas requerem cerca de 31% menos energia do que o tratamento de águas superficiais, devido à menor exigência de reagentes químicos. Assim, estas relações foram consideradas neste trabalho na estimativa da energia envolvida na captação de águas subterrâneas e tratamento por desinfecção.

Finalmente, a distribuição de água em baixa desde os reservatórios da EPAL no município até aos consumidores finais, é da responsabilidade dos SMAS de Oeiras e Amadora:

- Em 2011, esta entidade gastou mais de 2 697 187 kWh na bombagem de 10 327 726 m<sup>3</sup> de água, o correspondente a 0,26 kWh/m<sup>3</sup> de energia incorporada total;
- Analisando especificamente o sub-sistema de distribuição de Porto Salvo, verificou-se que esta região é abastecida pelo reservatório de Leceia, por sua vez abastecido pela estação elevatória de Vila Fria, da EPAL. Deste reservatório partem três adutores, dois deles operando graviticamente e outro equipado com um grupo de bombagem (Sobrepessora de Alto de Leceia), que transporta a água até à região do IST.

- Dados de 2012 revelaram que esta elevatória foi responsável por um consumo de 173 686 kWh para a bombagem de 316 010 m<sup>3</sup>, o que corresponde a uma energia incorporada de 0,55 kWh/m<sup>3</sup>.
- Este valor representa um aumento das necessidades energéticas por metro cúbico de água abastecida, visto que para o ano anterior a mesma estação registou um consumo de 0,484 kWh/m<sup>3</sup> (2011).

A tabela seguinte sumariza os consumos de energia específicos para cada fase do sistema de abastecimento de água, desde a sua captação até aos consumidores finais do município de Oeiras:



**Tabela 14 – Energia incorporada no sistema de abastecimento actual**

Captação de água (EPAL)					TOTAL Energia Incorporada 0,791 kWh/m³
Estação de Captação	Tipo de Estação	Energia Incorporada Estação (kWh/m³)	% Abastecimento de Oeiras	Energia Incorporada Ponderada (kWh/m³)	
Castelo do Bode	Superficial	0,067	68,6%	0,046	
Valada do Tejo	Superficial	0,146	23,2%	0,034	
Outras	Subterrâneas	0,135	8,2%	0,011	
	TOTAL	0,348	100%	0,091	
Tratamento de Água (EPAL)					
Estação de Tratamento	Tipo de Estação	Energia Incorporada Estação (kWh/m³)	% Abastecimento de Oeiras	Energia Incorporada Ponderada (kWh/m³)	
Asseiceira	ETA	0,049	54,5 %	0,027	
Vale da Pedra	ETA	0,106	20,7%	0,022	
Olhos de Água	ETA	0,078	0,5%	0,000	
Outras	Posto de Cloragem	0,053	24,3%	0,013	
	TOTAL	0,286	100%	0,062	
Transporte de Água (EPAL)					
Estação Elevatória	Tipo de Estação	Energia Incorp. Estação (kWh/m³)	% Abastecimento de Oeiras	Energia Incorporada Ponderada (kWh/m³)	
Telheiras	E. Elevatória	0,154	50%	0,077	
Campo de Ourique	E. Elevatória	0,154	50%	0,077	
	TOTAL		100%	0,154	
Distribuição de Água (SMAS Oeiras – Amadora)					
Estação Elevatória	Tipo de Estação	Energia Incorporada Estação (kWh/m³)	% Abastecimento de Oeiras	Energia Incorporada Ponderada (kWh/m³)	
Sobrepessora Alto do Leceia	E. Elevatória	0,484	100%	0,484	

Tal como se apresenta, a **energia incorporada total** por metro cúbico de água abastecida ao IST no *Campus do Taguspark* foi estimada em **0,791 kWh/m<sup>3</sup>**.

Este resultado é coerente com os dos trabalhos análogos, apresentados na Tabela 1 considerando que apenas a fase de operação deste sistema foi estudada, e que a construção das infra-estruturas e sua manutenção foi excluída, tal como a contribuição da energia indirecta, como o combustível usado pela frota da empresa ou a energia associada à produção e transporte dos reagentes químicos necessários à fase de tratamento. Por conseguinte, os resultados obtidos em termos de energia incorporada total revelaram-se ligeiramente inferiores aos da bibliografia analisada.

#### *Energia incorporada no SAAP*

Considerando o consumo energético diário de 0,11 kWh determinado, estimou-se que, para cada metro cúbico de água elevada seja consumida uma energia de **0,013 kWh/m<sup>3</sup>**, tendo em conta o Uso III, o uso de maiores consumos. Comparativamente ao valor de energia incorporada por metro cúbico de água determinado para o sistema tradicional, de 0,791 kWh/m<sup>3</sup>, pode inferir-se que o SAAP estudado apresenta vantagens relativamente ao primeiro, pelo menos do ponto de vista energético. De facto, a energia necessária para adução da água aos reservatórios superiores, por metro cúbico, revelou ser muito inferior à energia total incorporada por metro cúbico da água abastecida pelo sistema tradicional, incluindo as suas fases de captação, tratamento, transporte e distribuição.

Salienta-se, uma vez mais, a comparação deste resultado ao trabalho de Ward (2012), que obteve para o SAAP de um edifício não residencial uma energia incorporada de 0,54 kWh/m<sup>3</sup>, um valor largamente superior ao obtido com a *RaINvesT* para o SAAP do IST.

#### *GEE no sistema de abastecimento tradicional*

Foram consideradas as emissões das principais entidades fornecedoras de energia, Endesa, Iberdrola e EDP, que foram ponderadas de acordo com as quantidades de energia anualmente fornecida à EPAL e SMAS de Oeiras e Amadora. Dado que estes valores de repartição no fornecimento de energia foram apenas encontrados para a EPAL, não tendo sido apurados registos semelhantes para os SMAS, assumiram-se para esta última as mesmas as ponderações entre os três fornecedores de energia (tendo-se obtido a média ponderada 367,74 g CO<sub>2</sub>/kWh).

**Tabela 15 - Emissões específicas por fornecedor de energia (2012) (Endesa, 2011) (Iberdrola, 2012) (EDP, 2013)**

	Captação, tratamento e transporte de água (EPAL)				Distribuição de água no Taguspark (SMAS de Oeiras e Amadora)
Fornecedor de energia	Endesa	Iberdrola	EDP	TOTAL	
Total energia fornecida (kWh)	139 560 495	653 205	639 302	140 853 002	-
Energia fornecida a Oeiras (8%) (kWh)	11 164 840	52 256	51 144	11 268 240	
Energia fornecida à zona do Taguspark (2,55%) (kWh)	284 703	1 333	1 304	287 340	173 686
Emissões específicas (g CO <sub>2</sub> /kWh)	370	248	285	-	367,74
Total Emissões Abast. zona do IST (t CO <sub>2</sub> )	105,36	0,33	0,36	106,05	63,87

Como se pode observar na Tabela 15, as maiores emissões de GEE associadas à produção de energia eléctrica provêm da EPAL, com um total anual de cerca de 51 981 t CO<sub>2</sub>, dos quais apenas 106 t CO<sub>2</sub> estarão relacionados com o abastecimento de água na zona do *Campus* do IST no *Taguspark*. Estes resultados foram estimados com base nas emissões totais da empresa, incluídas no Relatório de Sustentabilidade da EPAL de 2012, cruzando-as com os dados da ERSAR, de que cerca de 8% da água captada pela EPAL, em Castelo de Bode e Valada do Tejo, abastece efectivamente Oeiras. O restante volume de água captado serve cerca de 30 outros municípios, entre eles alguns da margem Norte da AML como Lisboa, Cascais, Odivelas, Oeiras, Loures e Sintra.

Adicionalmente, assumindo que os consumos anuais da região do IST, que ascendem a 316 010 m<sup>3</sup>, correspondem apenas a 2,55% dos consumos do município de Oeiras (12 350 492 m<sup>3</sup> em 2011) (SMAS, 2013), obtiveram-se as emissões de GEE associadas ao abastecimento de água na área em estudo.

Analogamente, os SMAS de Oeiras e Amadora são responsáveis pela emissão de uma quantidade estimada de aproximadamente **64 t de CO<sub>2</sub>**. Finalmente, o somatório das emissões para este sistema de abastecimento de água apresentou um total de **170 t CO<sub>2</sub>**.

Considerando que estas 170 t se relacionam com a distribuição de água na zona do *Taguspark*, perfazendo um volume de 316 010 m<sup>3</sup>, tem-se que aos 3313,35 m<sup>3</sup> anuais relacionados com os usos não potáveis de descarga de autoclismos e rega de espaços verdes (Uso III) corresponde uma emissão média de **629,7 kg CO<sub>2</sub>**.

Deve, no entanto, salientar-se que, uma vez mais, as emissões calculadas reportam-se apenas aos consumos de energia directa, incluindo apenas a produção de energia. Os consumos de energia indirectos, resultantes da queima de combustível da frota da empresa, por exemplo, corresponderam apenas cerca de 2,4% das emissões totais anuais. Relativamente à EPAL,

nos últimos três anos as emissões indirectas permaneceram constantes, mas as indirectas aumentaram significativamente devido a maiores necessidades energéticas.

#### *GEE no SAAP*

Considerando as mesmas entidades fornecedoras de energia referidas anteriormente, estimaram-se as emissões de GEE correspondentes à energia consumida pelo grupo de bombagem do SAAP, de 0,11 kWh/dia, correspondentes a 40,15 kWh anuais. Assim, multiplicando pelas emissões específicas calculadas para o sistema de distribuição de água dos SMAS de Oeiras e Amadora, apurou-se que ao SAAP corresponde uma emissão anual de apenas **14,7 kg CO<sub>2</sub>**, bastante inferior aos 629,7 kg apurados para o actual sistema de abastecimento.

### **VI. Módulo de análise de custo-benefício**

Tendo em conta os elementos necessários à instalação deste sistema directo de aproveitamento de águas pluviais, foi calculado o investimento inicial inerente à sua instalação, estimando-se ainda os custos de operação e manutenção deste sistema, incluindo-se ainda no cálculo a depreciação dos respectivos materiais. Posto isto, para este módulo da ferramenta *RaINvesT* foram realizadas duas iterações de análise de custo-benefício:

- **Hipótese 1** - A entidade prestadora do serviço de abastecimento de água, neste caso os SMAS de Oeiras e Amadora, suportariam os custos de instalação, operação e manutenção do SAAP;
- **Hipótese 2** – Com os custos de instalação, operação e manutenção do SAAP suportados pelo consumidor final, neste estudo de caso o Instituto Superior Técnico (considerando apenas o *Campus no Taguspark*).

Note-se que, em todas as hipóteses estudadas, quer para os fluxos positivos quer para os fluxos negativos, foi considerado para efeitos de cálculo neste módulo o uso de maiores consumos (Uso III), estimado do módulo II desta ferramenta, com necessidades hídricas diárias de 8,53 m<sup>3</sup>/dia.

*Hipótese 1 - Análise de custo-benefício, sendo a entidade gestora dos serviços de água responsável pela instalação, operação e manutenção do SAAP*

Nesta primeira hipótese, os custos de instalação, operação e manutenção do SAAP seriam suportados pelos SMAS de Oeiras e Amadora, a fim de se avaliar se a instalação de SAAP

poderia constituir um modelo de negócio viável para estas entidades, uma vez que beneficiam de uma descentralização do seu sistema, de uma redução da água importada aos sistemas em alta, e, conseqüentemente, da bombagem necessária para a distribuição da água. Nesta primeira análise, considerou-se também a possibilidade de os SMAS de Oeiras e Amadora taxarem a utilização de águas pluviais por forma a diminuir o período de retorno do investimento de instalação do SAAP, embora a uma tarifa significativamente inferior à aplicável ao consumo de água potável.

Assim, foi feito um balanço de todos os custos e receitas do projecto, primeiramente do **ponto de vista dos SMAS de Oeiras e Amadora**, ao qual posteriormente foram aplicados cálculos financeiros para determinar a viabilidade económica deste, tendo-se considerado como **fluxos negativos**:

- O custo de instalação do SAAP - Foi desenvolvida uma estimativa dos custos associados à instalação do SAAP, considerando os reservatórios elevados, as várias tubagens necessárias e principais acessórios. Note-se, todavia, que este orçamento excluiu a mão-de-obra necessária à instalação, bem como os custos de manutenção do sistema. Esta estimativa aproximada permitiu apurar um custo total de instalação de **€ 6076**. A Tabela 16 apresenta em detalhe o orçamento referido.

**Tabela 16 - Orçamentação aproximada do SAAP (valores sem IVA)**

Elemento (s)	Unidades/ Comprimento	Preço unitário	Subtotal
Reservatórios elevados (MANUTAN)	10	€ 90	€ 900
Tubagens (adutora aos reservatórios elevados) (FOPIL PN6)	227 m (D =100 mm)	€ 5,90/m	€ 1339
Tubagens (para adução gravítica) (FOPIL PN6)	136,66 m (D = 12 mm)	€ 3,93/m	€ 537
Filtros e acessórios (freio-de-água, sifão para overflow e tomada de água) (ECOÁGUA) (1)	-	€ 800	€ 800
Bomba e sistema de controlo (GRUNDFOS) (1)	1	€ 2500	€ 2500
<b>TOTAL</b>			<b>€ 6076</b>

Notas:

(1) – baseado na literatura (Rodrigues, 2010)

- Os custos de operação da bomba de 0,5 kW do SAAP, considerando uma operação diária de apenas 12 minutos para o abastecimento dos reservatórios elevados. Assumindo uma tarifa média de electricidade de 0,15€/kWh e considerando o consumo diário de 0,11 kWh apurado, tem-se para esta bomba um custo irrisório **€ 6,02** ao fim de um ano (Tabela 17):

**Tabela 17 - Estimativa dos custos anuais da bombagem do SAAP**

<b>Operação da bomba SAAP</b>		
Potência da bomba	0,55	kW
Funcionamento por dia	12,00	min
	0,20	horas
Consumo energético diário	0,11	kWh/dia
Consumo energético anual	40,15	kWh
tarifa energia	0,15	€/kWh
actualização tarifa energia	2%	
custos anuais	6,02	€

- As despesas de manutenção do sistema, considerando, segundo a ETA0701 da ANQIP, ser necessária uma manutenção semestral para os filtros, dispositivo de *first flush* e caleiras e tubos de descarga, uma manutenção anual para o sistema de bombagem, canalizações e acessórios, e ainda uma manutenção com uma periodicidade de 10 anos para a limpeza dos reservatórios enterrados;

**Tabela 18 - Despesas de manutenção do SAAP**

<b>Manutenção SAAP</b>			
<i>(Especificação Técnica ANQIP ETA0701)</i>			
<b>Componentes SAAP</b>	<b>Freq. de Manutenção</b>	<b>duração</b>	<b>horas/ano</b>
Filtros	Semestral	0,5	1
First Flush	Semestral	0,5	1
Caleiras e tubos de descarga	Semestral	2	4
Sistema de Bombagem	anual	1	1
Cisterna	10 anos	2	0,2
Canalizações e acessórios	anual	0,5	0,5
Nº horas necessárias	7,7		
Horas Técnico	25	€/hora	
TOTAL Manutenção	192,50	€	

- Como custo considerou-se ainda a redução de consumo de água potável que na inexistência do SAAP seria cobrada pelos SMAS ao IST:

**Tabela 19 - Estimativa da redução e água potável cobrada ao IST**

<b>Redução receitas IST</b>		
Vol. anual pluviais captado	846,97	m <sup>3</sup> /ano
tarifa água potável	2,5336	€/m <sup>3</sup>
Redução receitas IST	2 145,88	€

Por outro lado, para esta primeira hipótese, os seguintes fluxos monetários foram considerados como **fluxos positivos**:

- A redução da despesa decorrente da compra de água à EPAL por parte dos SMAS de Oeiras e Amadora (a uma tarifa de 0,458 €/m<sup>3</sup> segundo o Relatório de Sustentabilidade dos SMAS de Oeiras e Amadora (SMAS, 2013)), correspondente a 846,97 m<sup>3</sup> de águas pluviais aproveitadas anualmente:

**Tabela 20 - Estimativa da redução da água comprada à EPAL**

Redução aquisição água à EPAL		
total comprado à EPAL	28893313	m <sup>3</sup>
total pago à EPAL	13 231 994,00	€
tarifa de compra à EPAL	0,458	€/m <sup>3</sup>
poupanças anuais água	846,97	m <sup>3</sup> /ano
poupanças anuais	387,88	€

- A redução da energia de bombagem necessária, associada à bombagem dos 846,97 m<sup>3</sup> referidos:

**Tabela 21 - Redução da energia de bombagem com a instalação do SAAP**

Redução da energia de bombagem		
poupanças anuais água	846,97	m <sup>3</sup> /ano
embodied energy	0,55	kWh/m <sup>3</sup>
poupanças anuais energia	465,83	kWh/ano
tarifa energia	0,15	€/kWh
atualização tarifa energia	2%	
poupanças anuais	69,88	€

- As novas receitas dos SMAS de Oeiras e Amadora cobradas ao IST pela utilização de águas pluviais, sendo para este exercício adoptada uma tarifa correspondente a 50% da tarifa aplicável à água potável, ou seja, de 0,3421 €/m<sup>3</sup>. Esta tarifa foi aplicada, para efeitos de cálculo, também ao volume total anual captado de águas pluviais de 846,97 m<sup>3</sup>

**Tabela 22 - Estimativa das receitas para o SMAS com o aproveitamento de águas pluviais**

Novas receitas IST (águas pluviais)		
vol. anual pluviais captado	846,97	m <sup>3</sup>
tarifa águas pluviais	1,2668	€/m <sup>3</sup>
novas receitas IST (águas pluviais)/ano	1, 072.94	€

Para esta primeira hipótese, e do ponto de vista da entidade prestadora do serviço de abastecimento de água, os resultados da *RaI/NvesT* evidenciaram um balanço simples, entre

os fluxos positivos e negativos (EBIDTA), negativo ao longo dos 15 anos considerados como horizonte de projecto (ver ANEXO III). Sendo este um indicador grosseiro da rentabilidade do projecto, pôde assim desde já inferir-se que este não se apresentou um modelo de negócio viável do ponto de vista dos SMAS.

Seguidamente, a EBIDTA foi afectada pela depreciação dos materiais, incluindo-se para este cálculo os reservatórios superficiais, a rede de distribuição e máquinas de uso específico (sistemas de bombagem, filtros e acessórios) aos quais foram aplicadas taxas de amortização de 4%, 6% e 12,5%, respectivamente:

**Tabela 23 - Depreciação dos materiais do SAAP**

(DR 25/2009)				
	<b>Orçamento</b>	<b>taxa amort.</b>	<b>duração</b>	<b>Depreciação</b>
Reservatórios superficiais	€ 900.00	4%	25	€ 36
Redes de distribuição	€ 1 676.00	6%	16	€ 104,75
Máquinas de uso específico	€ 3 300.00	12.5%	8	€ 412,50

Aos resultados brutos, correspondentes à EBITDA descontada da depreciação ao longo dos anos, seriam descontados os encargos fiscais de 25%, correspondentes ao valor mínimo de IRC (Imposto sobre o Rendimento Colectivo) a pagar pelos SMAS, obtendo-se assim os resultados líquidos. Para cada ano de horizonte de projecto. Note-se que, neste caso particular, uma vez que os resultados brutos se revelaram sempre negativos, esta carga fiscal não foi aplicada.

De seguida, calculou-se o fluxo de caixa (*Cashflow*) para cada ano do horizonte de 15 anos, tendo em conta o valor do investimento inicial (neste estudo de caso, o custo de instalação do SAAP), a depreciação dos materiais e os resultados líquidos supracitados. Finalmente, para uma correcta análise da viabilidade económica do projecto, os valores anuais deste *Cashflow* foram actualizados para o valor actual do dinheiro, considerando-se uma taxa de actualização (r) de apenas 7%, dada a simplicidade das tecnologias constituintes do SAAP (já conhecidas) e o baixo nível de risco associado ao projecto. Com efeito, as maiores incertezas associadas a este projecto relacionam-se com as séries de precipitação diária usadas no dimensionamento do sistema, uma vez que a nível tecnológico o risco é, como referido, menor, e o mercado é conhecido, ou seja, sabe-se que a água captada será de facto utilizada. Riscos maiores são utilizados quando estas incertezas assumem, no horizonte de vida do projecto, uma maior relevância. A título de comparação, num trabalho análogo de análise da viabilidade financeira de SAAP, para esta taxa de actualização usou-se um valor de apenas 3%, de acordo com as recomendações governamentais locais para este tipo de projectos (Chiu, et al., 2009).

Do somatório deste *Cashflow* actualizado para o horizonte de projecto, obteve-se um indicador Valor Actual Líquido (VAL) negativo, de **€-13 409**. Com efeito, o valor de Cahsflow acumulado



tende a ser cada vez mais negativo de ano para ano, o que evidencia que os custos ultrapassam os benefícios. De acordo com este indicador, e tal como se havia observado pela análise da EBITDA, **este modelo de negócio não constitui uma alternativa viável** para os SMAS de Oeiras e Amadora.

A tabela a) do ANEXO III resume os resultados obtidos nesta análise custo-benefício.

Avaliou-se ainda a Hipótese 1 na óptica do utilizador final do sistema de aproveitamento de águas pluviais, o Instituto Superior Técnico. Nesta análise, e uma vez que os custos inerentes à instalação, operação e manutenção do SAAP são, nesta hipótese, da responsabilidade dos SMAS de Oeiras e Amadora, consideraram-se apenas como fluxos negativos os custos associados à taxação dos 846,97 m<sup>3</sup> de águas pluviais anualmente utilizadas (Tabela 22).

Por outro lado, e considerando como único fluxo positivo a poupança na aquisição de água potável (taxada a uma tarifa duas vezes superior), tem-se para esta análise uma EBIDTA positiva em todo o horizonte de projecto, sendo por isso um indicador da rentabilidade do SAAP para o IST. De facto, nesta hipótese em que o investimento inicial é feito pela entidade prestadora dos serviços de abastecimento de água, na óptica do cliente o VAL da implementação deste sistema é, como seria esperar, positivo (**€8 266**), e tem um *Cashflow* positivo desde o primeiro ano do seu investimento. Pode-se assim afirmar que a instalação de um sistema como o estudado apresenta **vantagens económicas para o seu utilizador**.

*Hipótese 2 - Análise de custo-benefício, sendo o consumidor final de águas pluviais responsável pela instalação, operação e manutenção do SAAP*

Nesta segunda hipótese considerada para a análise custo-benefício, como referido, o investimento inicial foi suportado pelo cliente, neste exemplo o Instituto Superior Técnico.

Na óptica de entidade gestora dos serviços de abastecimento de água, e apesar de nesta nova análise não acarretar os custos associados à instalação, operação e manutenção do SAAP, este modelo de negócio continua a **não se apresentar como uma alternativa viável**, com um VAL negativo de **-€5 524**. De facto, também nesta situação a EBITDA, o balanço intermédio entre fluxos negativos e positivos já referida, se revelou negativa para todo o horizonte de projecto.

Esta não rentabilidade do investimento do ponto de vista dos SMAS de Oeiras e Amadora prende-se, acima de tudo, com a tarifa aplicada na venda de água potável, que torna significativa a perda da redução de receitas daí provenientes. Assim, e embora tenha sido considerada neste estudo a taxação da utilização de águas pluviais recolhidas, esta nova receita não parece ser suficiente para compensar a perda de receitas decorrente da redução da venda de água potável. Posto isto, pode inferir-se que este modelo de negócio, a esta escala, dificilmente se apresentará rentável para esta entidade.

Sugere-se, no entanto, como um dos possíveis desenvolvimentos futuros deste trabalho, a realização de uma análise de sensibilidade destes balanços de custo-benefício tendo em conta a instalação de SAAP num maior número de edifícios.

Do ponto de vista do IST, no entanto, e apesar de com um VAL inferior ao obtido na Hipótese 1 (**de €833**), por nesta análise acarretar os custos da instalação, operação e manutenção do SAAP, este modelo continua a apresentar-se como viável. Contudo, e pelas mesmas razões, o VAL apenas é positivo ao 12º ano, altura em que é recuperado o investimento inicial de instalação do SAAP, pelo que o **período de retorno obtido é de 12 anos**. Mais se acrescenta que, no uso credível de custos energéticos crescentes, esta solução poderia ter um retorno positivo mais cedo, o que se sugere também como desenvolvimento futuro desta análise.

O cálculo da taxa interna de rentabilidade vem confirmar os benefícios económicos deste sistema para o IST, tendo-se apurado para um período de análise de 15 anos uma **TIR de 9%**, e portanto superior à taxa de actualização considerada, de 7%. Assim, pode-se inferir que, mesmo quando responsabilizado pelos custos da sua instalação, operação e manutenção, a instalação de um SAAP apresenta, à partida, benefícios económicos para o seu utilizador. A tabela b) do ANEXO III sumariza os resultados que suportam esta análise.

Em suma, os resultados da *RaINvesT* para este módulo evidenciaram que, para este estudo de caso, independentemente de os custos associados à instalação, operação e manutenção do SAAP estarem do lado da entidade prestadora dos serviços de abastecimento de água potável ou do utilizador do SAAP, este apresenta apenas vantagens económicas para este último, nunca constituindo uma opção viável para a primeira. A Tabela 24 sumariza estes resultados:

**Tabela 24 - Sumário dos resultados obtidos no módulo VI da *RaINvesT***

		Responsabilidade pela Instalação, operação e manutenção do SAAP	
		SMAS de Oeiras e Amadora (Hipótese 1)	Inst. Sup. Técnico (Hipótese 2)
Óptica da análise de custo-benefício	SMAS de Oeiras e Amadora	VAL = - € 13 409 Projecto Inviável	VAL = - € 5 524 Projecto Inviável
	Inst. Sup. Técnico	VAL = € 8 265 Projecto viável	VAL = € 832 Projecto Viável

#### 4. CONCLUSÕES

Os usos de evolução do abastecimento de água de qualidade em quantidade suficiente, apontam para sistemas cada vez mais exigentes do ponto de vista energético. O aproveitamento de águas pluviais pode constituir uma alternativa viável para estes sistemas, aumentando a sustentabilidade a nível local mas também reduzindo a dependência do binómio água-energia destes sistemas. A ferramenta desenvolvida neste trabalho, *RaINvesT*, permitiu avaliar o investimento de instalação de um SAAP no *Campus* do IST no *Taguspark* em termos de independência relativamente à rede pública de abastecimento e da energia incorporada por metro cúbico de água, mas também em termos do seu retorno económico.

No estudo de caso considerado, para o volume de armazenamento disponível de 25 m<sup>3</sup>, obteve-se uma fiabilidade volumétrica na ordem dos 22% aos 51% para os usos III e I, respectivamente. Estes resultados são coerentes e da mesma ordem de grandeza de valores análogos encontrados na literatura consultada.

Em termos de energia incorporada, por metro cúbico de água abastecida, apurou-se para o SAAP um valor de 0,013 kWh/m<sup>3</sup> para este indicador. Esta energia é significativamente inferior à energia incorporada obtida para o abastecimento dos SMAS de Oeiras e Amadora, de 0,791 kWh/m<sup>3</sup>, o que permite inferir que, em termos energéticos, a instalação de um SAAP apresenta uma grande vantagem. Comparativamente a estudos semelhantes, este valor de energia incorporada afigura-se muito baixo, o que pode ser indicativo de uma subestimação em alguma das etapas deste cálculo.

Consequentemente, enquanto que à operação anual do SAAP corresponde apenas uma emissão de 14,7 kg CO<sub>2</sub>, para o sistema convencional de abastecimento apuraram-se emissões de 329,7 kg para a distribuição do mesmo volume de água.

Por último, a análise de custo-benefício desenvolvida permitiu concluir que, na óptica da entidade gestora dos serviços de abastecimento de água SMAS de Oeiras e Amadora, este modelo de negócio não constitui nunca uma alternativa viável, mesmo que seja o cliente responsável pelos custos de instalação, operação e manutenção do SAAP. Por outro lado, independentemente de serem os SMAS ou o IST a acarretar os custos referidos, este modelo apresenta-se sempre vantajoso para o IST, tendo-se obtido um período de retorno na ordem dos 12 anos (compensatório, dado o período de vida de um sistema deste tipo) e uma TIR de 9%. Salienta-se ainda, como resultado desta análise, o baixo custo de instalação do SAAP, na ordem dos €6000, devido sobretudo ao aproveitamento dos reservatórios de combate a incêndio já existentes no edifício.

De facto, como desenvolvimento futuro deste trabalho, considera-se pertinente o estudo da aplicação destes sistemas a um número alargado de edifícios, novos ou já existentes, com vista a se estudarem os impactos no sistema actual gerido pelos SMAS de Oeiras e Amadora,

quer em termos de água fornecida, quer em termos de requisitos de bombagem para a distribuição de água. É de notar ainda que seria interessante verificarem-se os impactos desta ampliação de escala em termos dos períodos de retorno dos investimentos associados e demais variáveis económicas consideradas. Por fim, seria relevante que os trabalhos futuros considerassem a adaptação dos SAAP aos eventos climáticos extremos do futuro, e como estes condicionariam a sua viabilidade e bom funcionamento.

Finalmente considera-se que a elaboração de um regulamento com vínculo legal para normalizar a instalação destes sistemas a nível nacional é imperiosa, assim como deve ser considerada a sua implementação obrigatória para usos não potáveis em novas edificações e/ou em regiões em que a escassez dos recursos hídricos mais se faça sentir.

## 5. BIBLIOGRAFIA

### 5.1. Referências Bibliográficas

Abdulla, F. A. & Al-Shareef, A. W., 2009. Roof rainwater harvesting systems for household suppli in Jordan. *Desalination*, Volume 243, pp. 195-207.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas/ CEET 00.001.77 - Aproveitamento da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos, 2007.

Almeida, A. M., Vieira, P. & Ribeiro, R., 2006. *Uso eficiente da água no sector urbano, Série de Guias Técnicos (8) Instituto Regulador de Águas Residuais, Instituto da Água e Laboratório Nacional de Engenharia Civil*. ISBN 972-99354-9-

ANQIP, A. N. p. a. Q. d. I. P., 2013. *Comissão Técnica 0701 - Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios, Especificações Técnicas ETA 0701 e ETA 0702*.

<http://www.anqip.pt/index.php/pt/comissoes-tecnicas/93-comissao-tecnica-0701>

[Acedido em Julho 2013].

Auckland Council, North Shore City Council, Rainwater Harvesting – Practice Note LB103, 2006.

<http://www.aucklandcouncil.govt.nz/>

[Acedido em Outubro 2013].

Bahri, A., 2012. Integrated urban water management, Stockholm, Sweden: Elanders. *Global water partnership technical comitee*, p. background paper nº16.

Bazilian, M. et al., 2011. Considering the energy, water and food nexus: towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*, Volume 39, pp. 7896-7906.

Braga, B. et al., 2013. *Gulbenkian Think Tank on Water and the Future of Humanity - Revising Water Security*. 1 ed. Lisbon: Springer.

British Standards, Code of Practice - Guide to BS8515:2009, 2009.

Campisano, A. & Modica, C., 2012. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 63, pp. 9-16.

Chanan, A., Vigneswaran, S. & Kandasamy, J., 2010. Valuing stormwater, rainwater and wastewater in the soft path for water management: Australian case studies. *Water Science & Technology*, 62(12), pp. 2854-61.

Cheng, C., 2002. Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building. *Energy and Buildings*, 34(3), pp. 261-266.

Chen, S., Wang, H., Yang, W. & Zhang, D., 2012. Research on City Energy Conservation Basing Rainwater Utilization. *Procedia Environmental Sciences*, 12(Icese 2011), pp. 72-78.

Chiu, Y., Liaw, C. & Chen, L., 2009. Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. *Renewable Energy*, Volume 34, pp. 492-498.

Chiu, Y. R., Liaw, C. H. & Tsai, Y. L., 2009. *Harvesting rainwater, an innovative approach to easing urban water-energy dilemma*. Proceedings of the 14th International Conference of Rainwater Catchment Systems, Kuala Lumpur.

Coombes, P. & Kuczera, G., 2003. *Analysis of the performance of rainwater tanks in Australian capital cities*. 28th International Hydrology and Water Resources Symposium, 10th-14th November, Wollogong, NSW, Australia

Crawford, R. H., 2008. Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method. *Journal of Environmental Management*, Volume 88 (3), pp. 496-506.

Dep.Health, Australian Government - Guidance on use of rainwater tanks, 1998

DIN1989:2001-10, Rainwater harvesting systems - Part 1: Planning, installation, operation and maintenance, 2002

DQA, 2000. *Directiva-Quadro da Água, Directiva nº2000/60/CE de 23 de Outubro*.  
[http://www.apambiente.pt/zdata/Políticas/Ambiente&Saude/Nocontextoeuropeu/Directiva\\_Quadro\\_Agua.pdf](http://www.apambiente.pt/zdata/Políticas/Ambiente&Saude/Nocontextoeuropeu/Directiva_Quadro_Agua.pdf)  
[Acedido em Setembro 2013].

Ecoágua, Apresentação U. Aveiro, 18 Fevereiro 2011. *Exemplos de Aproveitamento de Águas Pluviais e de Reciclagem de Águas Cinzentas*.  
[www.ecoagua.pt](http://www.ecoagua.pt)  
[Acedido em Dezembro 2013].

EDP, 2013.  
<http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/alteracoesclimaticas/emissoesatmosfericas/Pages/EmissoesAtmosfericas.aspx>  
[Acedido em 1 Março 2013].

Endesa, 2011. *Sustainability Annual Report 2011*

Entidade reguladora dos Serviços Energéticos, E., 2012. *Comércio Europeu de Licenças de Emissão de Gases com Efeito de Estufa, Análise para Portugal do Período 2005-2010*, Lisboa

EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres, 2010. *Relatório de Qualidade da Água*, Lisboa:

Evans, C. A., Coombes, P. J. & Dunstan, R. H., 2006. Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. *Water Research*, Volume 40, pp. 37-44.

Ghisi, E., 2006. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, Volume 41, pp. 1544-1550.

Gikas, G. & Tsihrintzis, V., 2012. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *Journal of Hydrology*, Volume 466-467, pp. 115-126.

- Gires, A. & Gouvello, B., 2009. Consequences to water suppliers of collecting rainwater on housing estates. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 60(3), pp. 543-53.
- Godskesen, B., Zambrano, K. & Trautner, A., 2011. Copenhagen – a management tool of the future Water systems. *Water Science & Technology*, 63(3), pp. 565-573.
- Gourbesville, P., 2008. Challenges for integrated water resources management. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5), pp. 284-289.
- Hamdan, S., 2009. A literature based study of stormwater harvesting as a new water resource. *Water Science & Technology*, 60(5), pp. 1327-39.
- Hoff, H., 2011. Understanding the nexus, Stockholm, Sweden. *Background paper for The Bonn 2011 Conference: the water, energy and food security*.
- Horvath, A., 2009. Energy and Air Emission Effects of Water Supply. *Environmental Science & Technology*, 43(8), pp. 2680-2687.
- Iberdrola, 2012. *Informe de sostenibilidad*
- Jun, K., Chung, E., Sung, J. & Lee, K., 2011. Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts. *The Science of the total environment*, 409(24), pp. 5228-42.
- Kahinda, J. M., Taigbenu, A. E. & Boroto, R. J., 2010. Domestic rainwater harvesting as an adaptation measure to climate change in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, Volume 742-751, p. 35.
- Kenway, S., Gregory, J. & McMahon, J., 2011. Urban Water Mass Balance Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 15(5), pp. 693-706.
- Kenway, S. J., Lant, P. A., Priestley, A. & Daniels, P., 2011. The connection between water and energy in cities: a review. *Water Science & Technology*, Volume 63.9, pp. 1983-1990.
- Khastagir, A. & Jayasuriya, L., 2010. Impacts of using rainwater tanks on stormwater harvesting and runoff quality. *Water Science & Technology*, 62(2), pp. 324-9.
- Kim, R., Lee, S., Lee, J. H. & Kim, Y., 2007. *Design of rainwater management system for Eco-housing complex*. Proceedings of the Rainwater and Urban Design Conference, 21-23 August, Sydney, Australia.
- Kwaadsteniet, M. d. et al., 2013. Domestic rainwater harvesting : microbial and chemical water quality and point-of-use treatment systems. *Water Air Soil Pollution*, Volume 224, p. 1629.
- Lencastre, A. & Franco, F. M., 2010. *Lições de Hidrologia*, Fundação FCT.
- MARN, 1991. *Manual de Saneamento Básico*. Direcção-Geral dos Recursos Naturais.
- McArdle, P. et al., 2011. Centralised urban stormwater harvesting for potable reuse. *Water Science & Technology*, 63(1), pp. 16-24.

Mendez, C. et al., 2011. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*, Volume 45 (5), pp. 2049-59.

Ministério das Obras Públicas, T. e. C., 1995. Decreto-lei nº23/95 de 23 de Agosto

Mo, W. et al., 2010. Measuring the embodied energy in drinking water supply systems: a case study in the Great Lakes region. *Environmental Science & Technology*, 44(24), pp. 9516-21.

Mo, W., Zhang, Q., Mihelcic, J. & Hokanson, D. R., 2011. Embodied energy comparison of surface water and groundwater supply options. *Water research*, 45(17), pp. 5577-86.

Mujumdar, P., 2008. Implications of climate change for sustainable water resources management in India. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5), pp. 354-358.

Niza, S., Rosado, L. & Ferrão, P., 2009. Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 13(3), pp. 384-405.

Nolde, E., 2007. Possibilities of rainwater utilization in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination*, Volume 215, pp. 1-11.

NOR: DEVO 0773410A, Arrêté du 21 août 2008, relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, 2008. *Ministère de L'écologie, de L'énergie, du Développement Durable et de L'aménagement du territoire*.

Oeingerge, 2013. *Agência Municipal de Energia e Ambiente de Oeiras*.

[http://www.oeingerge.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=133&Itemid=60](http://www.oeingerge.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=133&Itemid=60)  
[Acedido em Maio 2013].

Oliveira, F., 2008. *Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade*. Lisboa: Dissertação para obtenção do grau de mestre em Eng. Ambiente, Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa.

Palla, A., Gnecco, I. & Lanza, L., 2011. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, Volume 1-2, pp. 65-76.

Pardal-Monteiro, A., 2006. *Bloco E, Rede de Águas e Esgotos: projecto de execução e peças escritas (Memória descritiva e justificativa)*.

Decreto Regulamentar nº2/2009. *Diário da República*, 1ª série, nº18, 27 Janeiro, <http://www.dre.pt/pdf1s/2009/01/01800/0051900528.pdf>.

PEAASAR-II, 2007. *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013*.

<http://portaldaagua.inag.pt/PT/InfoTecnica/PGA/PNPlaneamento/Pages/PEAASAR.aspx>  
[Acedido em Setembro 2013].

Pedroso, V. M. R., 2000. *Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas*. LNEC.



Pereira, D., 2013. *Avaliação e Gestão de Projectos (diapostivos de apoio à cadeira)*. Mestrado em Engenharia e Gestão da Água, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa,

Perrone, D., Murphy, J. & Hornberger, G., 2011. Gaining perspective on the water-energy nexus at the community scale. *Environmental Science & Technology*, 10(45), pp. 4228-34.

Plappally, A. K. & Lienhard, J. H., 2012. Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation and disposal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, pp. 4818-4848.

PNUEA, 2005. *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*.

<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=860>

[Acedido em Setembro 2013].

Quadros, C. S., 2010. *Rainwater harvesting, case study: FCT/UNL Campus*, s.l.: Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Racoviceanu, A., Karney, B., Kennedy, C. & Colombo, A., 2007. Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment Systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 13(4), pp. 261-270.

Retamal, M., Turner, A. & White, S., 2009. Energy implications of household rainwater systems. *Australian Water Association (AWA)*, Volume 36 (8), pp. 70 - 75.

Rodrigues, J., 2010. *Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais - Dimensionamento e Aspectos Construtivos*. Porto: Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Roy, S. et al., 2012. Projecting water withdrawal and supply for future decades in the U.S. under climate change scenarios. *Environmental science & technology*, 46(5), pp. 2545-56.

Sazakli, E., Alexopoulos, A. & Leotsinidis, M., 2007. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research*, Volume 41, pp. 2039-2047.

Schets, F. M., Italiaander, R., van der Berg, H. H. J. L. & de Ronda Husman, A. M., 2010. Rainwater harvesting: quality assessment and utilization in the Netherlands. *Journal of Water and Health*, Volume 08.2, pp. 224-235.

Schuetze, T. & Chelleri, L., 2013. Integrating Decentralized Rainwater Management in Urban Planning and Design: Flood Resilient and Sustainable Water Management Using the Example of Coastal Cities in The Netherlands and Taiwan. *Water*, Volume 5, pp. 593-616.

SMAS Oeiras e Amadora, 2007. *Matriz da Água de Oeiras*, Oeiras

SMAS Oeiras e Amadora, 2013. *Relatório de Actividades 2012*

<http://www.smas-oeiras-amadora.pt/>

[Acedido em Agosto 2013].

Starkl, M., Parkinson, P., Narayana, D. & Flamand, P., 2012. Small is beautiful but large is more economical? Fresh views on decentralised versus centralised wastewater management. *Water*, Volume 21, pp. 45-47.

Umapathi, S., Chong, M. N. & Sharma, A. K., 2013. Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: a real-time monitoring study. *Journal of Cleaner Production*, Volume 42, pp. 201-214.

USEPA - United States Environmental Protection Agency, Rainwater Harvesting - Conservation, Credit, Codes, and Cost, Literature Review and Case Studies, 2013.

van der Hoek, J. P., 2012. Climate change mitigation by recovery of energy from the water cycle: a new challenge for water management.. *Water Science & Technology*, 65(1), pp. 135-41.

van der Steen, P., 2006. Integrated urban water management: towards sustainability. pp. 1st SWITCH Scientific Meeting, University of Birmingham, Birmingham, UK.

Ward, S., Memon, F. A. & Butler, D., 2012. Performance of a large building rainwater harvesting system. *Water Research*, Volume 46, pp. 5127-5134.

Wilby, R. L. et al., 2006. Risks posed by climate change to the delivery of Water Framework Directive objectives in the UK. *Environment international*, 32(8), pp. 1043-55.

Zaizen, M., Urakawa, T., Matsumoto, Y. & Takai, H., 1999. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *Urban Water*, Volume 1, pp. 355-359.

Zhang, D., Gersberg, R. M., Wilhelm, C. & Voigt, M., 2009. Decentralized water management: rainwater harvesting and greywater reuse in an urban area of Beijing, China. *Urban Water*, Volume 6 (5), pp. 375-385.

## 5.2. Sítios na internet consultados

**Tabela I - Sítios na internet consultados**

Entidade	Sítio na internet	Data de consulta	Relevância
Câmara Municipal de Oeiras	<a href="http://www.cm-oeiras.pt">www.cm-oeiras.pt</a>	Janeiro de 2014	Informações genéricas sobre o Município de Oeiras
ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos	<a href="http://www.ersar.pt/">http://www.ersar.pt/</a>	Fevereiro de 2013	Dados sobre os serviços de água ao nível municipal
ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos	<a href="http://www.erse.pt/pt/Paginas/home.aspx">http://www.erse.pt/pt/Paginas/home.aspx</a>	Setembro de 2013	Informação sobre as tarifas de energia
Geberit	<a href="http://www.geberit.pt">http://www.geberit.pt</a>	Julho de 2013	Modelos de autoclismos aplicados no edifício em estudo
Green Campus (Projecto)	<a href="http://greensmartcampus.eu">http://greensmartcampus.eu</a>	Fevereiro de 2014	Fotografia aérea do <i>Campus</i> do IST no <i>Taguspark</i>

**Tabela I – Sítios na internet consultados (continuação)**

Grundfos	<a href="http://pt.grundfos.com/">http://pt.grundfos.com/</a>	Fevereiro de 2013	Sítio da Marca Grundfos, sistemas de bombagem; Informações sobre os modelos de bombas disponíveis
Instituto Superior Técnico	<a href="http://www.ist.utl.pt">www.ist.utl.pt</a>	Janeiro de 2014	Informações genéricas sobre o <i>Campus</i> do IST no <i>Taguspark</i>
Junta de Freguesia de Porto Salvo	<a href="http://www.jf-portosalvo.pt">www.jf-portosalvo.pt</a>	Janeiro de 2014	Informações genéricas sobre a Freguesia de Porto Salvo
Legislação	<a href="http://www.rainwaterharvesting.org/policy/legislation">www.rainwaterharvesting.org/policy/legislation</a>	Janeiro de 2014	Compilação de legislação internacional
Oregon Live	<a href="http://www.oregonlive.com/">www.oregonlive.com/</a>	Dezembro de 2013	Exemplo da sinalética usada para o aproveitamento de águas pluviais
Seth	<a href="http://www.seth.pt/pt/">www.seth.pt/pt/</a>	Março de 2014	Exemplos práticos de construções em Portugal com aproveitamento de águas pluviais
SNIRH – Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos	<a href="http://snirh.pt">http://snirh.pt</a>	Fevereiro de 2013	Séries de precipitação diária e mensal em estações udométricas nas imediações do <i>Taguspark</i>



## 6. ANEXOS

ANEXO I – Excerto da folha de cálculo usada para o balanço hídrico do SAAP  
(exemplo Uso I)

### PAINEL DE CONTROLO

#### Dados de entrada

Altura de First Flush (mm) =	2
Superfície de Captação (m²) =	4362,54
Coefficiente de escoamento=	0,9
Ef. Hidráulica Filtragem=	0,9
V max reserv.(l)=	25000
(m³) =	25
Consumo médio diário (l)=	6000

#### Resultados

nº dias independente da rede	3260	31%
nº dias parcialmente dependente	683	7%
nº dias totalmente dependente	6527	62%
TOTAL	10470	100%
V médio diário afluyente	6,16 m³	
V médio diário gasto	2,02 m³	
overflow médio diário	4,14 m³	

#### Legenda:

Entrada

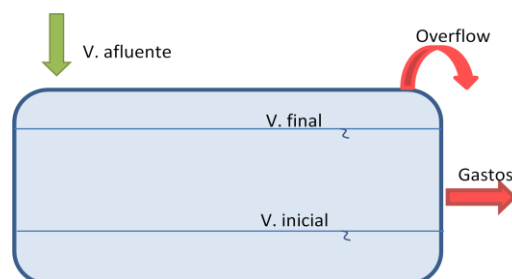
Balanço

Saída

Suprimento

#### Balanço hídrico reservatório

Data	Precipitação diária (mm)	Precipitação útil (mm)	V inicial reservatório	Volume diário afluyente (l)	V diário gasto (l)	V final reservatório	overflow	Suprimento rede pública (l)
DIA ZERO	0	0		0	0	350	0	6000
01-10-1979	0	0	350	0	350	0	0	5650
02-10-1979	0	0	0	0	0	0	0	6000
03-10-1979	0	0	0	0	0	0	0	6000
04-10-1979	0	0	0	0	0	0	0	6000
05-10-1979	33,3	31,3	0	110603,5	0	25000	85603,4766	6000
06-10-1979	16,7	14,7	25000	51944,76	6000	25000	45944,7638	0
07-10-1979	74,6	72,6	25000	256543,5	6000	25000	250543,527	0
08-10-1979	0	0	25000	0	6000	19000	0	0
09-10-1979	43,1	41,1	19000	145233,3	6000	25000	133233,319	0
10-10-1979	0	0	25000	0	6000	19000	0	0
11-10-1979	8	6	19000	21201,94	6000	25000	9201,9444	0
12-10-1979	8,2	6,2	25000	21908,68	6000	25000	15908,6759	0
13-10-1979	7,2	5,2	25000	18375,02	6000	25000	12375,0185	0
14-10-1979	12,7	10,7	25000	37810,13	6000	25000	31810,1342	0
15-10-1979	14	12	25000	42403,89	6000	25000	36403,8888	0
16-10-1979	20	18	25000	63605,83	6000	25000	57605,8332	0
17-10-1979	7	5	25000	17668,29	6000	25000	11668,287	0
18-10-1979	0	0	25000	0	6000	19000	0	0
19-10-1979	0	0	19000	0	6000	13000	0	0



## ANEXO II – Consumos unitários e anuais por dispositivo ou por utilização (ANQIP, 2013)

Dispositivo ou utilização		Consumo unitário	Consumo anual estimado
Autoclismos (Categoria A) <sup>*1</sup> em residências		24 l/(pessoa.dia)	880 l/pessoa
Autoclismos (Categoria A) <sup>*1</sup> em edifícios de serviços		12 l/(pessoa.dia)	4400 l/pessoa
Autoclismos (Categoria A) <sup>*1</sup> em edifícios escolares		6 l/(pessoa.dia)	2200 l/pessoa
Lavagem de roupa (Categoria A) <sup>*2</sup>		10 l/(pessoa.dia)	3700 l/pessoa
Limpezas Gerais	Lavagem de pavimentos	5 l /m <sup>2</sup>	1000 l/pessoa <sup>*3</sup>
	Lavagem de automóveis (self-service)	50 l/automóvel	
Zonas Verdes (valores para os anos médios) <sup>*4</sup>	Valores totais (em 6 meses) –	Relvados <sup>*5</sup>	450 a 800 l/m <sup>2</sup>
	Abril a Set. -	Jardins <sup>*6</sup>	60 a 400 l/m <sup>2</sup>
		Campos de golfe <sup>*7*8</sup>	200 a 450 l/m <sup>2</sup>
	Val. máximos (por dia)	Relvados <sup>*5</sup>	5 a 7 l/m <sup>2</sup>
		Jardins <sup>*6</sup>	1,5 a 5 l/m <sup>2</sup>
	- no Verão -	Campos de golfe <sup>*7*8</sup>	2 a 4,5 l/m <sup>2</sup>

<sup>\*1</sup> Autoclismo de 6 litros com dupla descarga  
<sup>\*2</sup> Máquina com consume de 9 a 12 l/kg  
<sup>\*3</sup> Trata-se de uma estimativa grosseira para residências, pois o global pode variar de forma muito significativa  
<sup>\*4</sup> Considera-se que, em Portugal, a rega de espaços verdes deve ser considerada como uma utilização temporalmente limitada nos SAAP, dado que as maiores necessidades de rega surgem nos períodos de estiagem mais prolongados. Por este motivo, entende-se que não há interesse em considerar valores totais superiores aos indicados como estimativas médias semestrais. Deve ainda salientar-se a tendência actual para a realização de jardins sem necessidade de rega.  
<sup>\*5</sup> Função do tipo de relva, do tipo de solo e da zona do país  
<sup>\*6</sup> Função do tipo de culturas, do tipo de solo e da zona do país (considerando um misto de relvados e zonas arbustivas)  
<sup>\*7</sup> Valor médio, ponderando as áreas destinadas a *greens* e *tees*, a *farways* e *surrounds*, a *roughs* e *semi-roughs* e a zonas de enquadramento  
<sup>\*8</sup> Função do tipo de solo e da zona do país

# ANEXO III – Resultados da Análise Custo Benefício

a) Hipótese 1: análise de custo-benefício para os SMAS de Oeiras e Amadora

	Anos															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Fluxosnegativos</b>																
InstalaçãoSAAP	€6076	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0
OperaçãobombaSAAP/ano		€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6
Manutenção		€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193
Redução receitalST(águapotável)		€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146
subtotalnegativos	€6076	€2344	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345	€2345
<b>Fluxospositivos</b>																
ReduçãoaquisiçãoáguaàEPAL		€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388	€388
Reduçãoenergiasbombagem		€70	€71	€73	€74	€76	€77	€79	€80	€82	€84	€85	€87	€89	€90	€92
NovasreceitasIST(águaspluviais)		€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073
subtotalpositivos	€0	€1531	€1532	€1534	€1535	€1536	€1538	€1540	€1541	€1543	€1544	€1546	€1548	€1549	€1551	€1553
<b>EBITDA</b>	-€6076	-€814	-€812	-€811	-€810	-€808	-€807	-€805	-€803	-€802	-€800	-€799	-€797	-€795	-€793	-€792
<b>Depreciação</b>		€553	€553	€553	€553	€553	€553	€553	€553	€141	€141	€141	€141	€141	€141	€141
<b>ResultadosBrutos</b>		-€1367	-€1366	-€1364	-€1363	-€1361	-€1360	-€1358	-€1357	-€943	-€941	-€939	-€938	-€936	-€934	-€932
<b>Impostos(25%)</b>		€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0
<b>ResultadosLíquidos</b>		-€1367	-€1366	-€1364	-€1363	-€1361	-€1360	-€1358	-€1357	-€943	-€941	-€939	-€938	-€936	-€934	-€932
<b>Cashflow</b>	-€6076	-€814	-€812	-€811	-€810	-€808	-€807	-€805	-€803	-€802	-€800	-€799	-€797	-€795	-€793	-€792
<b>Act.Cashflow(r=10%)</b>	-€6076	-€760	-€710	-€662	-€618	-€576	-€537	-€501	-€468	-€436	-€407	-€379	-€354	-€330	-€308	-€287
<b>Acum.Cashflow</b>	-€6076	-€6836	-€7546	-€8208	-€8826	-€9402	-€9939	€10441	€10908	€11344	€11751	€12131	€12484	€12814	€13122	€13409
<b>Valoractuellíquido</b>	-€13409															

b) Hipótese 2: análise de custo-benefício para o Instituto Superior Técnico

	Anos															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Fluxosnegativos</b>																
InstalaçãoSAAP	€6076	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0
Operação bombaSAAP/ano		€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6	€6
Manutenção		€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193	€193
Novos custos IST (águas pluviais)		€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073	€1073
subtotalnegativos	€6076	€1271	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272	€1272
<b>Fluxospositivos</b>																
Redução aquisição água potável aos SMAS		€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146
subtotalpositivos	€0	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146	€2146
<b>EBITDA</b>	-€6076	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874	€874
Depreciação		€553	€553	€553	€553	€553	€553	€553	€553	€141	€141	€141	€141	€141	€141	€141
Resultados Brutos		€321	€321	€321	€321	€321	€321	€321	€321	€734	€734	€734	€734	€734	€734	€734
Impostos (25%)		€80	€80	€80	€80	€80	€80	€80	€80	€183	€183	€183	€183	€183	€183	€183
Resultados Líquidos		€241	€241	€241	€241	€241	€241	€241	€241	€550	€550	€550	€550	€550	€550	€550
Cashflow	-€6076	€794	€794	€794	€794	€794	€794	€794	€794	€691	€691	€691	€691	€691	€691	€691
Act. Cashflow (r=10%)	-€6076	€742	€694	€648	€606	€566	€529	€494	€462	€376	€351	€328	€307	€287	€268	€250
Acum. Cashflow	-€6076	-€5334	-€4640	-€3992	-€3386	-€2820	-€2291	-€1797	-€1334	-€959	-€607	-€279	€28	€314	€582	€833
Valor actual líquido	€833															
Taxa interna de rentabilidade	9%															



